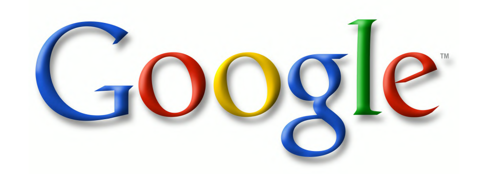

Google


RESEARCH LIBRARIES
3 06633532 8

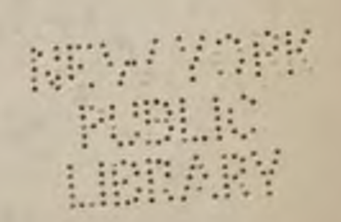

Minard

COURS
DE CONSTRUCTION

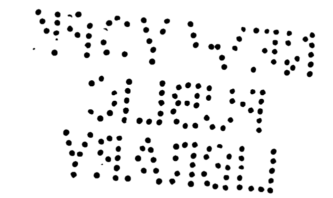
PROFESSÉ

A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.





LIÉGE. — IMPRIMERIE DE J.-G. LARDINOIS,
RUE SOEURS-DE-HASQUE, 11.



COURS
DE CONSTRUCTION

PROFESSÉ

A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

PAR M. MINARD,

INSPECTEUR DIVISIONNAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

DEUXIÈME PARTIE.

OUVRAGES HYDRAULIQUES DES PORTS DE MER.

TEXTE.

LIÉGE,

DOMINIQUE AVANZO ET Cie, ÉDITEURS.

1852

TABLE DES MATIÈRES.

COURS DE CONSTRUCTION

DES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

DES PORTS DE MER.

Les constructions que les ingénieurs exécutent dans les ports maritimes, sur les côtes et au large, sont incessamment attaquées par la mer. Les mouvements de cette masse fluide doivent donc d'abord fixer l'attention. Les principaux sont les marées, les vagues et les courants.

CHAPITRE PREMIER.

DES MARÉES.

La marée est l'exhaussement et l'abaissement périodiques des eaux de la mer, dus aux attractions combinées de la lune et du soleil. Marées.

Ces effets, très-marqués dans le grand Océan, sont faibles dans la Méditerranée, et insensibles dans les mers plus petites comme la mer Noire et la mer Caspienne.

La mer s'élève et s'abaisse deux fois pendant le retour de la lune au méridien; elle met généralement dans nos ports à peu près autant de temps à monter qu'à descendre, 6 h. 12'. Deux en 24 heures.

La mer montante s'appelle flux ou flot; la mer descendante reflux, ebbe ou jusant.

Ces mouvements sont les plus grands dans les syzygies, et les plus petits dans les quadratures; les premiers se nomment marées de vive eau, les seconds marées de morte eau. Intensité variable avec la lune.

Les courbes de la *fig.* 2 représentent les marées du port de Cherbourg pendant deux mois de l'année 1831. Les jours sont pris pour ordonnées, et les hauteurs des hautes et basses mers pour abscisses.

Les hautes mers de vives eaux les plus hautes et les basses mers les plus basses ont lieu aux équinoxes.

Marée totale.

L'accroissement des marées en allant vers les syzygies, et leur diminution vers les quadratures sont graduels. Cependant, la régularité n'a pas lieu pour les deux marées d'un même jour, et on appelle *marée totale* la demi-somme des hauteurs des deux pleines mers consécutives au-dessus de la basse mer intermédiaire.

Influence des vents.

Tous les effets ci-dessus sont augmentés ou diminués par les grands vents d'une manière irrégulière.

Coefficient de marée.

Les astronomes ayant égard aux diverses positions relatives de la terre, du soleil et de la lune dans l'année, en déduisent par le calcul l'intensité des marées, et l'Annuaire du bureau des longitudes annonce chaque année les plus fortes marées des syzygies. Dans la table publiée on trouve des nombres nommés coefficients de marée, par lesquels, multipliant l'*unité de marée d'un port*, on a la hauteur de la marée du jour annoncé.

Unité de marée.

L'unité de marée pour chaque port est la moitié de la marée totale moyenne d'un grand nombre de marées observées un jour ou deux après la syzygie des équinoxes.

Sur les côtes de France, la plus haute marée n'a point lieu le jour de la syzygie, mais généralement un jour et demi après. La forme des côtes, les courants et d'autres circonstances influent sur ce retard. Mais dans un même port, l'heure de la pleine mer est toujours constante les jours de pleine et de nouvelle lune; c'est ce qu'on nomme l'*établissement du port*. L'Annuaire du bureau des longitudes la donne pour plusieurs ports de l'Europe.

Etablissement du port.

Les marées d'un jour arrivent toujours plus tard que celles du jour précédent; cela provient du retard du passage de la lune au méridien, parce qu'elle avance dans son orbite, de l'ouest à l'est pendant une révolution diurne de la terre dans le même sens.

L'heure de la pleine mer dépendant aussi d'autres causes, l'Annuaire des longitudes donne le moyen de la calculer pour tous les jours. Un moyen simple, mais inexact, de l'obtenir approximativement consiste à ajouter à l'heure de l'établissement du port, autant de fois 48′ qu'il s'est écoulé de jours depuis celui de la pleine ou nouvelle lune.

On peut donc se représenter l'intumescence de la marée sur le grand Océan, comme suivant le mouvement de la lune, et arrivant quelque temps après elle au méridien. L'ondulation se communique avec une vitesse qui va jusqu'à 300 mètres dans l'Atlantique, mais qui diminue beaucoup en approchant des côtes et en pénétrant dans les golfes ou les détroits. Ainsi, on pense que la haute mer qui arrive trente-six

heures après le passage de la lune au méridien à Brest, ou à la pointe méridionale de l'Irlande, arrive à Londres vingt-quatre heures plus tard; ce jour est le temps que cette marée emploie à passer à l'ouest de l'Angleterre, à doubler la pointe nord d'Écosse, à traverser les Orcades et à revenir par la mer de l'Allemagne pour entrer dans la Tamise. La même ondulation, quand elle se présente au sud-ouest de l'Angleterre, pénètre dans la Manche, et n'avance vers le nord-est qu'avec une vitesse de 20 mètres; de sorte que ces deux marées partielles, marchant en sens contraire vers le détroit du Pas-de-Calais, se rejoignent près de Douvres.

Influence relative du vent et du coefficient sur la haute mer.

Il ne faut pas oublier que les résultats de tous les calculs précédents sont modifiés par les vents; ils élèvent ou abaissent la marée selon qu'ils viennent de mer ou de terre; l'influence est telle, que, par certains vents, les pleines mers des quadratures peuvent être aussi hautes et même plus hautes que celles des syzygies.

Ainsi, l'Annuaire du bureau des longitudes indiquait pour l'année 1807 les plus fortes marées, à savoir :

Le 23 février (pleine lune le 22). Le 3 septembre (nouvelle lune le 2).

Le 25 mars (pleine lune le 23). Le 3 octobre (nouvelle lune le 1er).

Et cependant, le 4 janvier, quatre jours avant la nouvelle lune, c'est-à-dire en morte eau, eut lieu à Flessingue la fameuse marée qui manqua noyer pendant la nuit la moitié des habitants. La mer s'éleva de $0^m,70$ au-dessus des plus hautes mers connues.

Smeaton dit en parlant du port de Christchurch : « On n'y connait pas de vives » eaux qui donnent plus de $1^m,50$ à $2^m,10$. Les mortes eaux sont de $1^m,20$ à $1^m,80$, » de sorte que celles-ci s'élèvent quelquefois plus que les premières à cause de l'action » des vents. »

Cette particularité du port de Christchurch existe aussi, dit-on, à Dunkerque; c'est-à-dire que dans les quadratures et par les vents d'ouest la mer s'élève autant que dans les syzygies par les vents d'est (1).

Je suis informé que du 14 au 15 février 1833 la mer monta au Hâvre, par un grand vent d'ouest, à la hauteur des vives eaux ordinaires, quoiqu'on fût alors en morte eau; le coefficient du jour de la pleine lune précédente était 1,07, celui du jour de la nouvelle lune suivante était 0,83.

Je suis encore informé qu'on a vu à Dunkerque, le 2 mars 1820, une marée extraordinaire qui s'éleva de $0^m,70$ plus haut que les hautes mers d'équinoxe; le coefficient du 29 février, jour de pleine lune, était 0,85.

On lit dans un mémoire de l'ingénieur Cachin, sur la digue de Cherbourg, qu'il y eut à Plymouth un coup de vent terrible dans la nuit du 19 janvier 1817, et que la marée s'éleva à $1^m,82$ au-dessus de son niveau ordinaire. Cependant, la marée du 17,

(1) *Pilote français*, 1842, page 381.

jour de nouvelle lune, n'est indiquée dans l'Almanach des longitudes que par le coefficient 0,75, et comme la plus faible des syzygies de cette année; les autres coefficients étant 1,09 — 1, 15 — 1,13, etc.

J'ai lu dans une brochure anglaise, que le 23 novembre 1824, il y eut encore à Plymouth une tempête plus désastreuse que celle de 1817; que la marée, qui s'élève ordinairement à $5^m,47$ en vive eau, s'éleva cette fois à $7^m,90$, et que l'ouragan arriva précisément à la syzygie. C'était en effet nouvelle lune le 20 novembre. Cette marée n'est marquée dans l'Annuaire du bureau des longitudes de 1824 que par le coefficient 0,89, tandis que ceux des plus fortes marées sont 1,12 et 1,13.

Il est à remarquer que, sur les côtes de l'Océan, les plus fortes marées accompagnent presque toujours les tempêtes; la raison en est simple. Les vents qui font monter la mer sont ceux qui viennent du large; or ces vents sont ordinairement les plus violents, puisqu'ils ne trouvent aucun des obstacles que les autres rencontrent sur la terre, tels que les montagnes. Il suffit donc que ces grands vents soufflent pendant huit ou dix heures pour qu'ils coïncident avec une forte marée, et c'est précisément parce que les choses ont ordinairement lieu ainsi, que les fortes marées signalées par l'Almanach des longitudes ne peuvent s'appliquer à tous les ports, eu égard à la hauteur de la mer. Il est évident, en effet, que si nous considérons, par exemple, les ports de Plymouth et de Cherbourg, les grands vents de la partie du sud qui feraient monter les marées dans le premier les empêcheraient de s'élever dans le second, et au contraire les grands vents du nord qui abaissent les marées à Plymouth les élèvent à Cherbourg.

Il est vrai que les mêmes vents, qui empêchent la mer de monter dans un port, la font ordinairement baisser davantage, de sorte que le coefficient de marée qui se rapporte à la différence peut encore être justifié, si on considère les deux limites de la marée. Mais la haute mer étant la circonstance la plus importante à connaître, on ne peut tirer toute l'utilité désirable des coefficients.

Un moyen de prévoir les marées extraordinaires qui attaquent les ouvrages à la mer dans leurs parties les plus élevées et les moins fortes serait précieux. Le calcul est impuissant à les prédire; il ne peut saisir que la partie régulière du phénomène, celle qui se rattache à l'action des astres, et non les causes accidentelles qui tiennent surtout aux vents, et dont l'influence est si grande. Il ne suffit donc pas de s'aider des lumières de la science, il faut encore veiller avec soin à la direction et à l'intensité des vents qui règnent pendant les syzygies et dont l'effet ajouté à celui des corps célestes peut être si désastreux.

Hauteur des marées sur nos côtes de la Méditerranée,

L'influence des vents est relativement plus sensible sur la Méditerranée, où les marées sont plus faibles que sur l'Océan. Les marées, sur les côtes de la Méditerranée en France, ne sont que de $0^m,15$ à $0^m,30$, et peuvent être portées à un mètre par l'effet des vents, et à des époques irrégulières.

de l'Océan,

La dénivellation des marées dans l'Océan sur les côtes de France, varie et peut aller jusqu'à 14 mètres, comme dans la baie du Mont-Saint-Michel.

Les marées s'étendent dans le fond des golfes, et remontent les rivières où elles finissent par devenir insensibles à des distances de l'embouchure, variables pour chaque rivière.

Leur propagation dans les fleuves participe du mouvement des ondes, et de celui des vagues qui montent sur le plan incliné d'un rivage.

dans le lit des fleuves.

Elles s'élèvent davantage et plus tard dans l'intérieur des terres que vers l'embouchure; ainsi, dans la Somme, la haute mer à Abbeville est plus haute de $0^{m},25$ que la haute mer au Crotoy; elle arrive une heure et demie plus tard au premier lieu qu'au second; de sorte qu'elle a déjà baissé de plus d'un mètre à Saint-Valery pendant qu'elle monte encore à Abbeville (*fig.* 1).

Toutefois, ces effets sont bien modifiés par la configuration des rives; ainsi, la Loire ne s'élève pas plus à Nantes qu'à Saint-Nazaire. Ainsi, la marée, resserrée brusquement dans le lit de la Seine à Quillebeuf, s'y élève plus qu'à Rouen de près d'un mètre dans les vives eaux, tandis qu'elle y est plus basse dans les quadratures.

L'influence des grands vents est considérable quand ils soufflent dans la direction des rivières; dans l'Elbe, à Hambourg, la hauteur des marées totales des syzygies est doublée et même triplée par les vents de nord-ouest.

Relation entre les temps et les ascensions de la marée.

Les astronomes admettent que si l'on représente par un diamètre vertical la hauteur totale d'une marée, les temps employés par la mer à s'élever aux différents points de ce diamètre, seront représentés par les longueurs des arcs de la circonférence, compris entre l'origine et les horizontales tirées des points correspondants du diamètre, de sorte que la demi-circonférence représentera le temps total écoulé entre la haute et basse mer.

Telle serait la relation entre les temps et les hauteurs, si les eaux de la mer ne recevaient aucune influence du fond, des côtes, des vents et des courants; mais la régularité du phénomène étant intervertie, principalement par les côtes, on doit avoir recours à l'observation pour connaître les modifications qu'elles apportent.

Je donnerai quelques exemples de ces modifications.

Marées à deux étales :

Entre Rochefort et l'embouchure de la Charente, la marée, dans les quadratures, fait *deux eaux*. Voici en quoi consiste cette anomalie qu'on n'observe point en mer.

à Rochefort.

Pendant trois jours environ, vers les quadratures, le flot qui dure ordinairement cinq heures est partagé en deux ascensions; après trois heures environ de montant, la mer est étale sept à dix minutes : c'est la *première eau*; ensuite, la marée descend pendant une heure ou deux, pour remonter ensuite jusqu'à l'heure déterminée du jour; et la mer est encore étale quatre à huit minutes : c'est la *deuxième eau*. J'ai observé ce phénomène plusieurs fois à Rochefort : les courbes des *figures* 7 et 8 en indiquent la marche pour les 20 et 21 avril 1839.

en Angleterre.

Il était connu de Smeaton, qui dans le rapport sur le port de Christchurch, déjà cité et daté du mois de mai 1762, s'exprime ainsi : « Je suis informé que trois heures

» après le temps régulier de la pleine mer, lorsque le principal courant dans le Chenal » (la Manche) commence à s'établir à l'ouest, une seconde marée a lieu dans cette baie, » laquelle est généralement plus haute que les mortes eaux, et que la différence entre » les deux marées est de $0^m,18$ à $0^m,45$. »

à la pointe de Grave.

A la pointe de Grave, les pilotes ont remarqué, lorsque le temps était calme, que la mer, après avoir monté de plusieurs pieds, descend plus ou moins de six pouces, pour remonter ensuite et atteindre l'état du plein.

en Écosse.

Dans l'embouchure du Forth, en Ecosse, on a constaté que pendant le flot, et avant l'heure du plein, la mer descend une ou deux heures pour remonter ensuite. De même, pendant le jusant, avant la basse mer, l'eau remonte d'un ou deux pieds, et redescend après ce mouvement. Ce phénomène commence à Queen's Ferry (où les marées sont très-rapides), et il est sensible en amont jusqu'à 25 milles de distance dans le haut de la rivière.

en Bretagne.

Enfin, ce phénomène est souvent observé sur les côtes nord de Bretagne. Il est très-connu des marins de ces contrées, et notamment à Saint-Brieux. Il a lieu quelquefois aux syzygies et même aux équinoxes.

Dans la Seine, de Rouen à Quillebœuf, les basses mers de morte eau sont plus basses que les basses mers d'équinoxe.

Temps du plein.

Dans plusieurs ports de la Manche la haute mer reste étale, ou *garde son plein*, pendant plus ou moins de temps. Ce temps est d'une heure à l'embouchure de l'Orne, de cinq quarts d'heure à celle de la Seine, de trois quarts d'heure à Dunkerque, de vingt minutes à Boulogne; tandis qu'elle redescend presque de suite dans des ports intermédiaires, comme à Dieppe et à Fécamp.

Courbes de marée.

Ainsi, les perturbations apportées aux marées par la forme des côtes, par les courants, par les vents, ne pouvant être déterminées par la théorie, c'est à l'observation à y suppléer. Les relations entre les temps et les hauteurs de la mer, ou les courbes des marées sont des données non moins utiles à l'ingénieur chargé des constructions d'un port, qu'aux marins qui le fréquentent; c'est donc un des premiers documents qu'il doit chercher à se procurer.

Les figures des planches 2 et 3 donnent les courbes de marées observées sur treize points de l'Océan, depuis les côtes d'Espagne jusqu'à celles de la Belgique, et rapportées à la même échelle.

De la plus basse mer.

Il est difficile de déterminer le zéro des échelles de marées, c'est-à-dire le point le plus bas où puisse descendre la mer. Il dépend d'un concours de circonstances qui ne se rencontrent qu'en plusieurs années, car il faut la coïncidence de certains vents et de certaine position des astres. Cette connaissance n'est pas indispensable pour profiter de l'annonce des plus hautes mers, par l'Annuaire du bureau des longitudes, puisqu'il ne faut qu'un petit nombre d'observations pour déterminer le niveau moyen de la mer, à partir duquel on peut porter les hauteurs indiquées dans les tableaux.

CHAPITRE II.

DES VAGUES.

Les mouvements qui ont lieu à la surface de la mer sont ceux qu'il importe le plus d'observer; il faut distinguer les mouvements du large de ceux qui ont lieu sur les côtes ou contre les ouvrages à la mer. Des vagues en pleine mer.

L'agitation de la mer au large vient de l'action directe des vents ou des mouvements produits par les vents sur un point éloigné de celui que l'on considère et qui s'y propagent par ondulation.

Les vagues proviennent du vent; la mer, les lacs, les fleuves sont toujours agités par les grands vents : c'est alors qu'on y voit des vagues. Quand l'atmosphère est calme, ces surfaces liquides sont planes et unies, à moins que les vagues n'y soient communiquées par ondulation. Causes des vagues.

Les auteurs qui ont parlé des vagues prennent ordinairement pour exemple celles qui se forment circulairement par la chute d'un corps. Cette action verticale et ces ondes circulaires sont peu comparables à l'agitation de la mer, dont les vents sont toujours la cause première, et dont les ondulations se succèdent à peu près en lignes droites parallèles.

Les vagues observées au large sur un navire présentent des soulèvements des eaux de la mer qui se suivent, et semblent s'avancer en marchant le plus souvent dans le sens du vent. Mais ce mouvement de translation n'est qu'apparent en très-grande partie; car, si on jette à l'eau un corps flottant qui suit fidèlement les mouvements des flots, on le voit s'élever et s'abaisser successivement en s'éloignant très-peu de la verticale, à moins qu'il ne donne prise au vent lui-même, ou qu'il n'y ait courant. Leur mouvement apparent au large, réel.

Cet apparence est parfaitement représentée par les ondulations d'un drapeau agité par un grand vent; les parties qui forment les ondulations semblent s'éloigner de la hampe, quoiqu'elles en soient toujours à la même distance.

Si on imagine un plan vertical parallèle à la direction du vent, il coupera la surface de la mer suivant une courbe ondulée; si on se figure chaque point de cette courbe

arrivant successivement au maximum et au minimum de hauteur en se mouvant verticalement, si de plus on suppose des horizontales menées de chacun de ces points perpendiculairement au premier plan imaginé, elles formeront une surface mobile qui représentera celle des vagues et de leurs successions.

Retour périodique d'une plus forte vague.

Quelquefois on remarque de petites vagues ayant leurs ondulations particulières sur le dos de très-grosses lames. C'est à cette complication qu'on peut attribuer la plus grande élévation d'une certaine vague revenant périodiquement, dit-on, après un même nombre d'autres vagues. On peut imaginer que cette vague est simultanée avec le sommet de grosses lames sur lesquelles paraissent marcher les petites.

Vitesse des vagues.

La vitesse de transmission des vagues peut être très-grande; on l'a vue de $20^{m},00$ par seconde dans la baie de Saint-Jean-de-Luz.

Hauteur des vagues.

La hauteur des vagues dépend : 1° de la violence du vent; 2° de la profondeur et de l'étendue des bassins où elles se propagent. Ainsi, sur les étangs de Biscaros, de Canan, d'Hourtins dans les Landes, assez étendus, mais peu profonds, les vagues n'ont que $0^{m},50$ à $0^{m},70$ de hauteur; dans le bassin d'Arcachon, elles n'ont qu'un mètre à $1^{m},60$, et on les y voit plus basses partout où il y a moins d'eau. Sur les réservoirs du canal de Bourgogne qui n'ont que 800 à 1,200 mètres de longueur, mais dont la profondeur est de onze à vingt mètres, on y voit quelquefois des vagues de deux à trois mètres de hauteur. Sur le lac de Genève, elles atteignent $2^{m},50$. Dans la Méditerranée, $3^{m},50$. Dans l'Océan, de cinq à six mètres.

Tous ces chiffres se rapportent aux très-grands vents; mais dans les tempêtes, les vagues acquièrent des hauteurs extraordinaires qui n'ont pas encore été déterminées avec certitude.

Profondeur où elles cessent de se transmettre.

L'expérience a appris que, dans les cas ordinaires, l'eau de la mer n'était pas notablement agitée à une certaine profondeur, laquelle dépend de la force des vagues ; nous pouvons donc admettre qu'il n'y a qu'une tranche supérieure de la mer, d'une certaine épaisseur, dont les molécules participent aux mouvements d'élévation et d'abaissement dont nous avons parlé tout à l'heure. Cependant, lors des tempêtes, l'agitation se communique profondément.

Ainsi, l'action sensible des vagues de l'Océan s'étend jusqu'à 7 à 8 mètres de profondeur au-dessous du creux des vagues, celle de la Méditerranée jusqu'à 5 mètres. Les grandes vagues du lac de Genève, qui n'ont que $2^{m},50$ de hauteur, semblent n'avoir plus d'effet à $1^{m},20$ au-dessous de leur creux.

On est amené à ces conclusions, en remarquant que les talus des enrochements de la digue de Cherbourg et du môle de Cette et les sables du rivage du lac de Genève commencent, aux profondeurs susdites, à se régler selon l'inclinaison qu'ils affectent dans l'eau tranquille.

Des vagues sur les côtes.

Telles sont en général les ondulations de la mer au large; sur les côtes, les effets sont différents. La mer agit sur le fond lorsqu'il se rapproche de la surface ; ainsi près du rivage, son mouvement se complique de la réaction du fond; les vagues interrom-

pues dans leur développement inférieur frappent la plage, glissent sur le rivage où on les voit s'élever à des hauteurs plus grandes que celle de leur sommet.

C'est donc un fait, qu'une partie du mouvement vertical d'ondulation se transforme sur les côtes en vitesse horizontale, bien plus grande que celle qu'aurait l'eau tombant de la hauteur des vagues.

Ainsi, près des côtes où il y a moins de profondeur, les vagues ont une action horizontale marquée et se brisent violemment contre les obstacles qu'elles rencontrent ; c'est ce mouvement, aussi bien que la pression due à l'élévation qu'elles acquièrent par ondulation, qui ruine les ouvrages à la mer et les renverse.

Lame de retour.

Quand une vague a monté sur le plan incliné d'une plage, elle en descend en produisant ce qu'on appelle la lame de retour. Quelquefois elle vient frapper une des vagues qui la suivait ; alors les deux masses, animées de vitesses opposées, se dressent l'une contre l'autre, jusqu'à ce que celle qui vient du large, ayant plus de volume et étant incessamment pressée par les vagues suivantes, dépasse l'autre, s'arrondit et tombe en déferlant sur le rivage. Elle enveloppe l'air dans sa chute, et produit cette écume blanchâtre qu'on remarque si souvent.

La réaction du fond de la mer sur les vagues dépend de la profondeur à laquelle la mer est agitée, et celle-ci dépend elle-même de la grosseur des vagues, comme nous l'avons déjà dit. Ainsi, à l'entrée de la baie de Saint-Jean-de-Luz, le rocher d'Artha, à neuf mètres au-dessous de basse mer de vive eau, réagit sur les vagues qui sont au-dessus de lui lorsque celles-ci n'ont que de $1^m,50$ à 2 mètres de hauteur. Si l'agitation de la mer augmente, alors les vagues brisent entièrement sur ce rocher et ne brisent point à côté, et alors aussi on commence à apercevoir une réaction au large d'Artha, produite par d'autres rochers qui sont à onze mètres plus bas ; enfin si les vagues augmentent encore de dimensions, la mer commence à briser au-dessus de ces derniers rochers qui sont à vingt mètres sous le niveau des plus basses mers.

Action des hauts-fonds sur les vagues.

Un haut-fond agit toujours assez sur les vagues pour produire un changement quelconque dans leur forme qui signale sa présence, même à des profondeurs considérables. C'est ainsi que des vagues courtes et clapoteuses annoncent aux navigateurs qu'ils passent sur le banc de Terre-Neuve, quoiqu'il soit à 160 mètres au-dessous de la surface de la mer.

Action du vent sur les vagues.

Nous avons dit que le mouvement de translation des vagues au large n'était en grande partie qu'apparent, et que le mouvement principal était vertical ; on doit croire cependant que les vagues, même au large, sont animées dans les plus grands vents d'une vitesse horizontale notable. Les expériences à ce sujet n'ont jamais pu être faites bien exactement, mais l'induction nous vient en aide.

L'action du vent sur la surface des lacs, des étangs, des réservoirs, des canaux est un fait incontestable. Franklin, Smeaton et d'autres ont donné les différences de niveau suivant lesquelles de grands vents soutenaient des surfaces d'une dimension déterminée.

Au canal du Midi, dans la grande retenue de Fonserane, qui a cinquante-six kilomètres de longueur et de nombreuses sinuosités très-prononcées, lorsqu'il y a un grand vent, on observe une dénivellation dans les parties qui approchent de la direction du vent; cette dénivellation peut aller jusqu'à $0^m,15$, selon la force du vent.

Direction des lames et du vent.

L'action du vent sur les lames est indiquée par ce fait, presque général, que la marche des lames est dans la direction des grands vents et change avec elle.

Ce phénomène est constant dans la Manche; j'ai vu en douze heures la direction des lames changer de huit rumbs en suivant celle du vent.

Sur la digue de Cherbourg, les vagues s'avancent de l'ouest à l'est par les grands vents d'ouest, et la digue qui court est et ouest est couverte successivement sur toute sa longueur par une même lame; tandis que par les grands vents de nord, la digue est couverte presque au même moment par une seule lame venant du nord.

Généralement, les vagues viennent du large sur les côtes de l'Océan, et même quelquefois par les vents de terre; tandis que sur celles de la Manche, la direction des lames est presque toujours perpendiculaire à celle du vent.

Il paraît d'ailleurs impossible qu'un vent violent n'agisse pas puissamment sur le flanc de la vague qui en reçoit l'impression, puisqu'elle a une vitesse trois ou quatre fois moindre. La vague présentant une surface inclinée à la direction du vent, l'action de l'air se décompose en deux forces, l'une perpendiculaire à cette surface qui augmente la profondeur de la vague au moment où elle s'abaisse et par suite sa hauteur, et l'autre parallèle à la surface de la mer qui communique un mouvement de translation dans le sens du vent.

Il en résulte souvent que le sommet des vagues est poussé avec plus de vitesse que la partie inférieure, alors on le voit tourné en volute, renversé dans le creux, entraînant de l'air avec lui et produisant une écume blanchâtre : on dit alors que la mer *moutonne*.

Cet effet est susceptible de deux formes différentes, selon que les lames marchent ou ne marchent pas dans le sens du vent. La circonstance où la perturbation à la surface des vagues est la plus forte, est celle où les lames sont en même temps entraînées par un grand courant, et qu'elles marchent dans le sens opposé au vent.

On voit aussi les rivières moutonner, particulièrement quand le vent souffle d'aval en amont.

L'action du vent sur l'intensité et l'époque des marées, qui sont de grandes ondulations, semble prouver son influence sur de plus petites ondes, c'est-à-dire sur les vagues. Cependant, quelques personnes pensent que les vagues n'ont point de mouvement de translation par l'effet du vent : cette opinion ne semble pas admissible sur les côtes.

La plupart des marins et des ingénieurs tiennent pour certain que les sables des côtes de la Méditerranée avancent dans le sens du vent régnant. Suivant Bélidor, ceux de l'embouchure du Rhône vont dans le port de Bouc par les vents de sud-ouest.

A Cannes (*fig.* 94), on a observé que par les vents entre l'ouest et le sud-ouest, qui sont très-forts, les vagues agitent le sable du fond et le poussent vers Cannes; et il est à observer que ces deux mouvements sont contraires au courant littoral de la Méditerranée sur les côtes de France.

L'ingénieur Fazzio dit que la mer Méditerranée agitée soulève les sables qui sont à moins de huit mètres de profondeur, qu'ils restent suspendus le long du rivage et que les eaux chargées de ces matières *suivent l'impulsion du vent;* il en cite des preuves appuyées des opinions de plusieurs ingénieurs.

Duguay-Trouin rapporte qu'un grand vent de nord l'ayant jeté sur la côte, près Saint-Malo, il allait faire naufrage, lorsque le vent sauta tout à coup au sud, et que ce changement apaisa subitement la tempête et l'agitation des vagues. Comment concevoir cet effet, si le vent n'avait pas une action directe sur les vagues?

Résistance à la lame.

La théorie montrant que l'action de la mer sur des blocs de forme semblable croissait comme les carrés de leurs dimensions, tandis que leur stabilité croissait comme les cubes de ces mêmes dimensions, on était amené à conclure qu'en augmentant progressivement la masse des blocs on devait arriver nécessairement à l'immobilité complète; qu'en conséquence, dans des parages donnés, il y avait toujours une certaine masse contre laquelle les efforts de la mer étaient impuissants; et dernièrement on croyait le problème résolu pour les côtes de l'Algérie par des blocs parallélipédiques de dix mètres cubes. Mais nous allons voir que de pareilles masses sont déplacées à Alger par les fortes tempêtes.

Evaluation de l'action des lames.

On a cherché à déterminer le maximum d'action des lames contre une surface verticale, en prenant pour base d'évaluation des effets produits par les plus fortes tempêtes.

En 1810, deux mortiers à plaque posés sur la digue de Cherbourg furent déplacés, l'un fut renversé, l'autre glissa sur sa base. Ce dernier pesait 4,719 kilog., la surface opposée à la lame était de $0^m,87$ carré. En supposant un coefficient de frottement de 0,60, on trouve une résistance au glissement de 2,831 kilog. pour le mortier et de 3,254 kilog. par mètre carré, force qui a dû être inférieure à l'action de la lame.

Des caisses de béton *b* posées par leur fond en bois sur la risberme en enrochement de la digue de Cherbourg (*fig.* 37-46), glissaient quelquefois sous le choc des vagues du nord. Chacune d'elles pesait 13,800 kilog.; en prenant 0,60 pour coefficient de frottement du bois sur pierre, on trouve une action de la vague contre une caisse plus grande que 8,280 kilog., et au-dessus de 3,680 kilog. par mètre carré, la surface choquée étant de $2^m,25$ carrés.

A Alger, des blocs, les uns à la suite des autres, avaient été placés en parapet provisoire sur le sommet de la jetée. Ils avaient deux mètres de hauteur et $1^m,50$ d'épaisseur. On les avait unis en coulant du béton dans les intervalles. Dans la tempête des 21 et 22 janvier 1841, ils furent d'abord désunis, puis transportés vers le milieu de la jetée, puis enfin bouleversés et dispersés dans tous les sens. La pesanteur spécifique de ces

blocs étant 2,2, on trouve pour résistance au renversement par rotation autour de l'arête 4,950 kilog. par mètre carré exposé à la lame, et pour résistance au glissement, en admettant un coefficient de frottement de $0^{m},80$, 2,640 kilog.

Dans la tempête de novembre 1843, un bloc de $3^{m},40$ de longueur sur 2 mètres de largeur et $1^{m},50$ de hauteur (*fig.* 59) reposant par sa large base sur l'aire unie du béton du quai d'Alger, à 4 mètres au-dessus du niveau de la mer, a été repoussé à plusieurs mètres. Son volume était de $10^{m},20$ cubes, et il pesait 22,400 kilog. Admettant dans ce cas 0,80 pour coefficient de frottement (d'après les expériences de Boistard et Peyronnet), la résistance du bloc au glissement était 15,708 kilog., il était frappé par les vagues sur une surface de $5^{m},10$ carrés, l'action de la lame a donc dépassé 3,500 kilog. par mètre carré.

En 1830 il existait encore sur la branche Est de la digue de Cherbourg, un bloc de béton provenant des caisses coniques de Cessart; il avait complètement résisté à tous les coups de vent qui avaient eu lieu pendant quarante ans, et notamment à la fameuse tempête du 12 février 1808. Il avait 4 mètres de longueur sur $2^{m},25$ de largeur et $1^{m},40$ de hauteur (dimensions moyennes), et présentait une surface de $5^{m},60$ carrés à la lame. Son volume était de $12^{m},60$ cubes, et son poids de 28,980 kilog. En prenant 0,80 pour coefficient de frottement, on trouve pour résistance au glissement par mètre carré exposé aux vagues 3,900 kilog., ce qui a dû dépasser l'action de la lame.

Toutes ces évaluations, quoique assez rapprochées les unes des autres, laissent encore beaucoup à désirer, surtout à l'égard de la pression qu'exerçaient les blocs sur leurs appuis au moment où la vague les frappait; car alors ils étaient plus ou moins plongés dans les flots, et ils perdaient une partie de leur poids qui ne doit point entrer dans la valeur du frottement.

CHAPITRE III.

DES RESSACS.

On donne le nom de ressac à plusieurs effets secondaires des vagues, mais on n'est pas toujours bien d'accord sur cette dénomination. Peut-être, pour faire rentrer ces effets dans la même définition, pourrait-on appeler ressac toute forte agitation qui n'est pas transmise *directement* du large. Du ressac,

Les chocs qui ont lieu à la surface de la mer contre les obstacles qui lui sont opposés brusquement, comme un mur vertical, une côte ou un banc accores, sont des effets que l'on reconnait à la simple inspection; ces mouvements irréguliers doivent se transmettre vers le bas de l'obstacle, comme vers le haut, en diminuant d'intensité avec la profondeur, de manière que si un mur, par exemple, est fondé un peu en dessous de mer basse, le terrain naturel sera plus ou moins attaqué par ces mouvements de transmission que l'on appelle *ressac*, et s'il peut être entamé il en résultera un affouillement, ainsi qu'on le voit généralement au pied des musoirs des jetées. contre les obstacles abrupts.

Ces affouillements n'existent pas toujours immédiatement au pied des ouvrages; il paraîtrait, par l'exemple de la muraille sur la digue de Cherbourg, que le ressac laisserait dans l'angle de ce mur et de l'enrochement une partie de fluide peu agitée où s'accumuleraient tous les matériaux qui y seraient poussés. Il en est de même au pied des jetées du Havre, de Dieppe, de Fécamp, où l'affouillement provenant du ressac est à une petite distance de l'ouvrage sur la base duquel s'appuie un très-petit talus.

Les ressacs verticaux dont nous venons de parler ont toujours lieu plus ou moins fortement au pied des obstacles abrupts, mais la résistance de ceux-ci produit aussi des agitations qui se réfléchissent horizontalement et se transmettent quelquefois à des distances assez grandes.

Le port de commerce de Cherbourg nous fournit un exemple de ressac par réflexion (fig. 30). Lors des coups de l'ouest au nord-ouest il règne une très-grande agitation dans tout l'avant-port *m r s t*. Elle n'avait pas lieu autrefois. Elle a commencé Ressac par réflexion :

à Cherbourg, après la démolition de la partie intérieure *bc* de la jetée de l'ouest, elle a considérablement augmenté par suite de la destruction d'une butte de rocher *o m*, qui, partant du quai ouest, s'avançait dans l'avant-port et se joignait avec la jetée démolie, et enfin cette agitation est parvenue à son comble depuis qu'on a fait disparaître tous les hauts-fonds de la partie nord de l'avant-port. Les vagues du nord-ouest, après avoir frappé la partie *d h* de la jetée de l'est qui dépasse celle de l'ouest, sont transmises par réflexion contre le quai ouest *i m*, d'où elles s'avancent et se réfléchissent encore dans tout l'avant-port; et dans ce moment (1843), pour détruire l'agitation on s'occupe de construire un épi d'enrochement faisant saillie sur le quai est de l'avant-port, lequel n'est en quelque sorte que le rétablissement de la butte de rochers qu'on avait supprimée.

à la Ciotat, Un second exemple de ressac, par réflexion, nous sera donné par le port de la Ciotat, *fig.* 35.

On y a construit dernièrement un môle circulaire *a b*, pour abriter le port des vents d'est et nord-est, et pour éviter les dangers que présentait dans la passe le prolongement sous-marin du rocher sur lequel est construit le fort Bérouart *a*. Ce môle est élevé sur un massif vertical de béton. Après sa construction, il a été reconnu que l'agitation avait considérablement augmenté dans le port par les vents du sud. Les lames arrivant du sud-sud-ouest et du sud-sud-est, entre le cap de l'Aigle et l'Ile-Verte, viennent frapper la face intérieure du môle et de la fondation, se détournent insensiblement de leur direction en suivant la courbure du parement, et pénètrent avec violence dans l'intérieur *mc* du port, ce qui n'avait pas lieu avant l'établissement du môle.

On voit, en effet, qu'autrefois l'ancien môle *o r* couvrait le fond du port du vent du midi, et que les lames du sud dépassaient le fort Bérouart ou venaient s'y briser. Mais aujourd'hui le nouveau môle *ab* les arrête, les réunit, et les dirige pour ainsi dire vers l'intérieur du port; elles y causent un ressac si dangereux, que pour le détruire, on a proposé l'éperon en saillie *d*, ou un brise-lame flottant en avant de la passe *rb*.

à Antibes. Le port d'Antibes nous donnera un troisième exemple de ressac par réflexion. Ce port (*fig.* 27) est couvert au sud et à l'est par un mur élevé de sept mètres au-dessus de la mer; bien que les coteaux au nord et à l'ouest du port soient élevés, ils ne l'abritaient pas assez contre le mistral (vent du ouest-nord-ouest), et on le couvrit de ce côté par un môle *h m*. Cet abri n'étant pas suffisant, on prolongea ce môle suivant *mn*; mais alors, par les vents de nord-est, la lame du large venait frapper la face intérieure du prolongement, et l'agitation se réfléchissait dans le fond du port. Pour détruire ce ressac, on a démoli la branche droite *mn*, et on l'a remplacée par une partie courbe *mr*, dont le musoir *r* avance jusqu'à une ligne nord-est, tangente à l'extrémité *s* du vieux môle de l'est.

On est assez généralement d'accord pour donner le nom de ressac aux effets dont je viens de parler; mais il y en a d'autres, comme je l'ai dit, pour lesquels l'application de ce mot n'est pas unanime. Ainsi, quelques personnes ont appelé ressacs, des agitations qui ne proviennent point des lames renvoyées par un obstacle, mais transmises de toute autre manière indirecte.

Dans certains cas les vagues détournées graduellement de leur direction normale finissent par arriver dans des espaces éloignés, où leur marche est presque opposée à celle qu'elles avaient au large, et ce dernier mouvement porte le nom de ressac.

Ressac par transmission graduelle des vagues.

Dans d'autres cas l'agitation est communiquée dans le sens de la longueur des lames par la brusque interruption d'obstacles, qui cessent de les contenir; le mouvement qui en résulte est encore nommé ressac; je proposerai d'appeler celui-ci transmission latérale des vagues.

et par transmission latérale.

Je donnerai plusieurs exemples de ces différents ressacs.

Dans le port des Sables-d'Olonne (*fig.* 126) le chenal est parfaitement abrité du vent du sud-ouest, par les rochers de la Chaume *hhr* et la jetée Saint-Nicolas *rb;* cependant l'ondulation produite par les lames, marchant dans le sens de ce vent, se jette dans le chenal par transmission latérale, en suit les directions, et s'appuyant contre le parement de la grande jetée *pc*, dont elle contourne la portion circulaire *cd*, elle se retourne d'équerre en *d*, et arrive jusque dans le port. Elle y fatiguait tellement les navires au moment du plein, qu'on a été obligé de rompre cette transmission par un épi en charpente *im*, perpendiculaire au quai d'amarrage *ik*.

Exemple de ces ressacs aux Sables-d'Olonne,

A l'île d'Yeu (*fig.* 22) la côte nord-est *ddd* paraît devoir être entièrement à l'abri du vent de sud-ouest qui frappe l'autre côté de l'île, et cependant ce vent déterminait un ressac très-violent dans le port Breton *bb*. L'agitation se propageait depuis la pointe de la Gournaise en marchant le long de la côte nord-est, et parallèlement au môle *mr;* on a été obligé de construire un autre môle *mn*, s'avançant de 200 mètres au large, perpendiculairement à la côte, c'est-à-dire parallèlement au vent dont il s'agit, pour soustraire les navires à l'effet de ce ressac, qui à mer haute avait plusieurs fois brisé des bâtiments dans le port Breton.

à l'île d'Yeu,

Ainsi les grandes lames du large, marchant dans la direction du sud-ouest, passant à côté de l'île d'Yeu, produisent une agitation qui se propage perpendiculairement à la première direction, et cette agitation marchant parallèlement à la côte et au môle *mr*, se propageait à son tour suivant une direction perpendiculaire qui arrivait dans le port Breton, dans le sens contraire au vent.

A l'île de Ré, le port de Saint-Martin (*fig.* 34) paraît parfaitement abrité des vents du sud ou nord-ouest par l'ouest, toutefois ces vents y produisent un ressac. Ainsi la lame marchant parallèlement et le long des murailles *lm* qui courent à peu près ouest et est, n'étant plus soutenue quand elle dépasse l'extrémité de ces murailles, tombe et s'épand dans le goulet *m* du port, et de là va jusque dans l'intérieur en produisant le ressac cité, dont la position du port et de la côte semblait devoir le garantir complètement.

à Saint-Martin, de l'île de Ré,

Pareil ressac a lieu par les vents du sud-ouest au nord-ouest dans le port de la Flotte, situé sur la même côte de l'île de Ré (*fig.* 28). Il était naturel de penser que le nouveau môle *bc*, construit en 1841, pour agrandir le port et le couvrir des vents du nord au nord-est, le préserverait en même temps du ressac dont il s'agit; mais il n'en est rien,

à la Flotte,

et ce nouveau môle ne couvre pas le port de l'agitation que produisent les lames de l'ouest, marchant parallèlement à cet ouvrage défensif et à la côte.

à Camaret, Dans la port de Camaret (*fig.* 24), lors des grands vents du sud-ouest à l'ouest, la mer contourne la côte *m n o p* au nord de Camaret, ainsi que le môle du sillon *h h*; puis se jette de côté et produit, à mer haute, un ressac affreux dans le fond du port *s s*, bien qu'il paraisse complètement abrité des vents dont il s'agit. Cette agitation a plusieurs fois causé la perte des navires.

Pour y remédier on construit le môle *r t* qui doit s'avancer à 87 mètres du sillon; il arrêtera la lame du sud-ouest et la rejettera au large. Bien que cet ouvrage ne soit encore parvenu qu'à la moitié de sa longueur, il a déjà produit les plus heureux résultats; et lors de la tempête du 10 novembre 1844, le ressac était à peine sensible dans le port de Camaret; beaucoup de navires s'y étaient réfugiés, et n'ont pas éprouvé la plus légère avarie. Il est donc démontré que cette agitation se propage comme il a été dit, et non par réflexion comme l'inspection de la côte rocheuse *b b* pourrait le faire présumer.

à Alger. A Alger (*fig.* 29) la côte et le vieux môle *omb* courent presque nord et sud, le port est entièrement abrité des vents de nord et de nord-est, qui sont les plus violents et les plus dangereux; cependant il n'était pas tenable par ces vents avant la construction de la grande jetée neuve *bdc*, qui est presque dans le prolongement de l'ancien môle. Les fortes lames, qui à Alger viennent du nord, produisaient un ressac tel, que les câbles-chaines y étaient rompus en quelques jours. Ainsi la lame après avoir dépassé l'extrémité du vieux môle se jetait brusquement de côté et apportait jusque dans le port une agitation funeste aux navires mouillés en avant de la darse. Quelques personnes attribuaient cet effet à la réflexion de la lame qui, frappant le fond de l'anse au sud d'Alger, était renvoyée, disaient-elles, jusque dans le port en contournant la côte. Mais l'anse dont il s'agit ayant une plage sablonneuse en pente douce, la vague s'y développe en déferlant en toute liberté, et y use une grande partie de son action. En second lieu le prolongement *bdef* du môle n'aurait pu apporter remède au mal, s'il avait eu la cause présumée; et cependant depuis cette construction, le ressac est considérablement atténué. Il est donc plus probable que ce mouvement, si fatal aux bâtiments mouillés devant la darse, venait de la transmission latérale de la lame qui ne se fait plus sentir maintenant si près d'eux, et qui est reportée à l'extrémité du môle prolongé.

Toutefois cette atténuation du ressac, si prononcée dans l'origine du prolongement de la grande jetée, a cessé en partie; une autre agitation est venue de nouveau fatiguer les navires de la darse et du port. On l'attribue avec raison aux murs de quai *r t h* construits à 150 mètres environ en avant de la ville. L'agitation du large qui se perdait en grande partie sur le rivage, dont le fond s'élevait insensiblement, se trouve maintenant arrêtée brusquement par les quais fondés à cinq mètres sous l'eau, elle est renvoyée au large, et de là le ressac actuel.

Voici d'autres exemples de ressacs où l'on retrouve simultanément ceux dont nous avons déjà parlé.

Le port de Saint-Tropez (*fig.* 33) est abrité du côté du sud et de l'est par des coteaux élevés, au nord par un môle *n m*; il est ouvert du côté de l'ouest sur le golfe de Grimaux, dont le fond est à 1,500 mètres de Saint-Tropez. Cependant les lames qui viennent des vents d'est et du nord-est communiquent de l'agitation au port; elles marchent parallèlement au môle *n m*, arrivent par transmission latérale contre le quai *r s*, et de là sont réfléchies dans le fond du port. Le prolongement *m o* du môle *n m*, qui a pour but de couvrir complètement le port du mistral (vent d'ouest nord-ouest), détruira sans doute le ressac dont je viens de parler, en reportant plus au large la transmission latérale. à Saint-Tropez.

Par les vents du nord, tournant un peu à l'est, le port de Bastia (*fig.* 23) éprouve un fort ressac qui se fait sentir jusqu'au fond de la darse aux points *m p n*; les lames qui marchent presque parallèlement à la côte *b c* et au môle *c d*, qui ne les soutient plus quand elles ont dépassé le musoir *d*, se jettent de côté, viennent frapper les rochers du Lion *h*, ainsi que la côte abrupte *i*, et sont réfléchies vers la partie nord du port, en suivant une marche contraire à celle qu'elles ont au large. à Bastia.

On pourrait penser que ce ressac vient de la réflexion directe des vagues frappant la côte rocheuse *o t*. Mais il est facile de voir que la lame, déjà affaiblie par sa transmission latérale à l'ouvert du port, ne peut achever par réflexion un mouvement rétrograde dans le port, puisqu'elle rencontre les roches du Lion qui l'arrêtent au passage et la dispersent.

Les causes des ressacs sont encore peu connues, ces mouvements échappent souvent aux prévisions des ingénieurs. On sait mettre un port, un chenal, une rade, à l'abri de l'action directe de la mer; mais on a peu de données pour préjuger les ressacs que peuvent faire naître de nouveaux ouvrages. C'est un point délicat de l'art des constructions maritimes; on peut dire que ce n'est qu'après leur exécution que les ressacs qu'elles ont produits ont été connus et qu'on y a porté remède.

Lorsque les ondulations du large arrivent contre un obstacle, tel qu'une côte accore, un mur de quai, un rocher à pic, elles sont réfléchies et en produisent d'autres qui marchent en sens opposé aux premières; ces diverses ondulations se rencontrent, se heurtent, se contrarient, et il en résulte quelquefois des vagues dont le creux et les sommets réduits à un point ne paraissent point marcher et restent en oscillant sur la même verticale, c'est ce qu'on appelle le *clapotage*. Cet effet est souvent accompagné d'un bruit particulier qui vient sans doute des petites vagues frappant les unes contre les autres. Du clapotage.

CHAPITRE IV.

DES COURANTS.

Des courants

La mer a aussi d'autres mouvements qui agissent directement ou médiatement sur les ouvrages exposés à ses eaux, ce sont les courants; il importe à l'ingénieur des ports de bien connaître ceux qui règnent le long de la côte et à une certaine distance, parce qu'ils règlent ordinairement la marche des alluvions.

Dans la Méditerranée, il y a un courant général littoral allant de l'ouest à l'est le long des côtes d'Afrique, et de l'est à l'ouest sur les côtes d'Europe. On dit que sa vitesse n'est que de $0^m,07$ sur les côtes de France, tandis qu'on l'a trouvée récemment sur les côtes d'Algérie de $0^m,25$ à $0^m,50$, et même de 1 mètre près des caps.

Dans l'Océan il y a des courants généraux qui agissent au large et qui intéressent particulièrement la navigation au long cours; ils ont peu d'importance pour l'ingénieur.

Ceux qui ont le plus d'influence sur les travaux des ports, sur leur entrée et leur sortie, sur la marche des alluvions, sont les courants dus aux marées, lesquels, considérés près des côtes, sont nombreux, variés et souvent alternatifs comme la cause qui les produit.

dus à la marée. De leur direction.

Rien de plus changeant que leur direction, qui offre des révolutions périodiques avec les marées, et qui quelquefois font le tour du compas en douze heures; quelquefois aussi la régularité de ces périodes est troublée par les vents.

En général, près des côtes occidentales de France, depuis Bayonne jusqu'au cap Finistère, le courant de flot porte au nord, et celui de jusant au sud. Du cap Finistère au cap Grinez, le flot porte au nord-est et le jusant au sud-ouest; enfin, du cap Grinez à Dunkerque, sa direction est encore à peu près la même, tandis que vis-à-vis, près des côtes d'Angleterre, il marche du nord au sud.

de leur vitesse.

La vitesse des courants n'est pas altérée par le mouvement des vagues; on a

remarqué que la marche des corps qu'ils entraînent s'opérait dans le même temps, soit que la mer fût calme, soit qu'elle fût agitée; mais il n'en est pas de même du vent dont la direction a quelque influence.

Les courants à la surface n'ont pas toujours la même direction que ceux du fond : ainsi on sait que dans le goulet de la rade de Brest, lorsque la mer commence à monter, un canot en temps calme et par le seul effet des courants, entre en rade, tandis que dans les mêmes circonstances un vaisseau en sort.

Si on veut avoir une idée de l'intensité de ces courants, très-différente suivant les parages, on saura que la vitesse maximum du flot est ainsi qu'il suit :

Dans les pertuis d'Antioche, Breton, de Maumusson, de	1 à 2m,00
A l'Ile d'Yeu.	0 ,50
En rade de Lorient.	1 ,00
Dans la baie d'Audierne, au Bec-du-Raz.	3 à 5 ,00
Au nord-ouest de l'Ile d'Ouessant.	4 ,50
Près de l'Ile d'Aurigny.	3m,50 à 4 ,50
A une lieue de la digue de Cherbourg.	1 ,40
Sur les côtes est et sud d'Angleterre.	1 ,50 à 3 ,00
Aux orcades	1 ,50 à 4 ,00
Contre la tête des jetées du Havre.	1 ,50
A un kilomètre au sud de ces jetées.	2 ,50
Devant les jetées de Dieppe et de Boulogne.	1 ,50
Devant les jetées de Douvres.	2 ,00
Devant les jetées de Calais.	2 ,40
Devant les jetées de Dunkerque.	1 ,40

Époque du reversement des courants et des marées.

Il est d'ailleurs remarquable que le reversement des courants relatifs au changement de marées est généralement postérieur à celles-ci; ainsi dans la mer d'Allemagne et dans la Manche le courant de flot continue encore une demi-heure ou même trois heures après que la mer a commencé à baisser; il en est de même du courant de jusant après que la mer a monté; ces faits connus depuis longtemps ont été confirmés dernièrement par des expériences exactes.

Remous et contre-courants.

Les courants varient d'ailleurs de direction près du rivage; on y remarque quelquefois des remous, des tournants, des contre-courants. Ces effets, analogues à ceux qui s'observent dans le cours des fleuves, se rapportent à une cause semblable, que j'ai proposé de formuler ainsi pour les rivières : « Toute saillie ou renfoncement brusque » dans le fond du lit ou sur les bords donne lieu à des tournoiements, à des change- » ments de directions. Ces effets ont d'autant plus d'intensité que la vitesse est grande. » (Cours de construction, navigation des rivières, page 30.)

De même, je dirai relativement aux courants de la mer : « Toute saillie ou renfon- » cement brusque dans le fond des atterrages ou sur les côtes donne lieu à des tour- » noiements, à des changements de directions; ces effets sont d'autant plus sensibles » que la vitesse des courants est grande. »

Les caps, les baies, les îles, les mouvements prononcés du fond agissent sur les forts courants de la mer et produisent les effets dont nous parlons. Ainsi il existe quelque-

fois sur les rivages des courants en sens opposés de ceux qui règnent au large; je crois que ces mouvements peuvent s'expliquer généralement par le phénomène que Venturi a appelé *communication latérale du mouvement des fluides*; j'en citerai plusieurs exemples.

sur la côte du Poitou,

Sur toute la côte du Poitou (*fig.* 103), le courant de flot au large porte au sud et celui de jusant au nord; cependant immédiatement devant la ville des Sables d'Olonne, le flot parait se diriger au nord-ouest. N'est-il pas vraisemblable que cet effet est dû à la saillie des rochers de l'Aiguille derrière lesquels se trouve le renfoncement de la côte où la ville est située, et où il se forme, par communication latérale, un grand tournant qui donne naissance au contre-courant dont il s'agit?

Le port de Saint-Gilles (*fig.* 103), sur la même côte, situé dans un angle rentrant derrière la pointe rocheuse de Grosseterre, présente un phénomène semblable, et qu'on peut expliquer de même.

Ces effets sont étrangers à l'action des cours d'eau qui débouchent dans ces deux ports, car au havre de la Gachère (*fig.* 103), situé entre les deux ports précédents, où débouche également un ruisseau, mais où l'on ne remarque ni saillie ni renfoncement de la côte, le courant de flot n'éprouve aucune perturbation en passant devant le chenal.

à l'extrémité du Cotentin,

L'extrémité nord de la presqu'île du Cotentin, produit par sa saillie dans le grand courant de flot de la Manche, portant au nord-est, un contre-courant qui porte à l'ouest depuis les rochers de la Coque jusqu'au cap de la Hague. Il est probable que le courant de flot rasant ce cap, entraine par communication latérale les parties qu'il touche de la portion de mer devant l'anse Saint-Martin, laquelle est à l'abri du grand courant, et détermine par là un grand tournant dont la partie voisine de la côte marche à l'ouest, ainsi que l'indique la *fig.* 155.

à Cherbourg,

Devant le port de Cherbourg (*fig.* 36), avant la construction de la digue CDE, le grand courant de flot dans la Manche rasait les pointes de Querqueville, du port militaire et des Flamands; il déterminait un contre-courant de l'est à l'ouest dans l'anse du port de commerce devant les jetées.

à Honfleur,

Le courant de flot qui porte en rivière à l'embouchure de la Seine suit la direction de l'est-nord-est tandis qu'il y a devant le port de Honfleur à ce même moment un contre-courant portant l'ouest-nord-ouest. Cela ne vient-il pas de ce que la masse d'eau qui est dans l'anse de Fiquefleur, abritée du grand courant de flot par la pointe Notre-Dame-de-Grâce, tourne dans cette anse, entrainée qu'elle est par la mer montante dans la rivière, ce qui sollicite les parties longeant la côte et le port de Honfleur, à participer au mouvement giratoire en marchant dans le sens opposé.

A l'entrée de beaucoup de ports de l'Océan, la saillie des jetées produit des contre-courants semblables très-connus, et contre lesquels les marins se tiennent bien en garde quand ils approchent de la tête des jetées. Ils existent au Havre, à Boulogne, à Calais, à Dieppe, à Saint-Valery, au Tréport, à Douvres. Voy. les figures 114, 115, 116, 120, 121, 122 et 204 *bis*.

Sur la côte est d'Angleterre (*fig.* 130), tandis que le courant de flot porte au sud-sud-ouest avec une vitesse de $1^m,75$, il y a, à la pointe d'Orford, touchant la côte, un courant en sens contraire du flot, et qui a autant de vitesse. Sans doute il est dû au tournant que cette pointe occasionne. à Orford, en Angleterre,

Aux environs du cap de Fez, en Algérie, le grand courant littoral de la Méditerranée qui porte à l'est, produit un contre-courant dans le golfe de Stora qui porte à l'ouest. au cap de Fez, en Algérie,

Dans le détroit de Messine, entre la Sicile et la Calabre, il y a un fort courant alternatif, dû aux faibles marées de la Méditerranée; mais en même temps, le long des côtes, il y a des tourbillons d'eau, et leur direction est contraire à celle du courant qui occupe le milieu du détroit. Un tournant d'eau se fait remarquer par sa vitesse près de la pointe du phare de Messine, c'est le fameux *Caribde* des anciens. à Messine,

Les îles, dans les grands courants de la mer, produisent des effets semblables à ceux des piles de ponts dans l'eau des rivières.

Aux Orcades, les îles Stroma, Swona, Skerry, Laman, sud Ronaldsha, Fair, etc., donnent lieu, pendant le flot, qui généralement porte au nord-est avec une grande vitesse, à un contre-courant qui vient frapper en sens contraire les côtes est de ces îles; pendant le jusant, qui porte à l'ouest, le côté ouest est frappé par un remous portant à l'est. Ainsi, à l'île de Stroma (*fig.* 4), située dans le détroit de Pentland, à $4,000^m$ de la pointe d'Écosse, le courant de flot, à environ 400^m de distance du milieu de l'île, se partage en deux bras, qui, après avoir contourné les côtes nord et sud, se portent bien loin dans le sud-est avant de se réunir et de se confondre avec le grand courant général. Dans l'intervalle qu'ils embrassent, il se forme un contre-courant dirigé vers l'ouest, qui s'étend à environ $2,000^m$ dans l'est de l'île; mais pendant la durée du jusant qui porte à l'ouest, c'est sur le côté ouest de l'île que vient frapper le contre-courant portant alors à l'est. aux Orcades,

N'est-il pas présumable que la partie de la mer couverte par l'île contre le grand courant de flot est entraînée latéralement par la communication de mouvement des deux bras dont je viens de parler, et que le niveau s'abaissant un peu sur la côte est de l'île, il se détermine un contre-courant pour combler la différence de niveau venant dans l'axe correspondant à peu près au milieu de l'île. C'est-à-dire qu'il y a, comme dans les piles de pont, mais sur une plus grande échelle, regord sur la côte ouest de l'île frappée directement par le flot obligé de se séparer pour passer, puis dépression à la côte est, par communication latérale du mouvement des deux forts courants entraînant l'eau stagnante à l'est de l'île, et enfin contre-courant portant à l'ouest, arrivant dans le milieu de l'intervalle qu'embrassent les deux courants pour combler la différence de niveau. Tel est l'effet que représente la figure 4.

L'île d'Aurigny, dans la Manche (*fig.* 5), exposée au courant de flot du raz Blanchart qui a quelquefois $4^m,50$ de vitesse, présente un phénomène semblable. On a constaté que lors du flot, qui porte au nord-est, il y a vers l'extrémité orientale de cette île un faible courant portant au sud-ouest. Le courant de flot en arrivant sur à l'île d'Aurigny.

la côte occidentale se divise en deux branches qui longent les deux côtés de l'île, et ne se réunissent, après l'avoir dépassée, qu'à environ 2,000^{m} de l'extrémité orientale. C'est dans cet espace triangulaire qu'a lieu le contre-courant se dirigeant au sud-ouest, tandis que toutes les eaux ambiantes portent avec violence au nord-est.

Les anfractuosités des côtes ne sont pas des causes suffisantes pour produire les phénomènes dont nous venons de parler; il faut encore qu'il s'y en joigne d'autres, telles qu'une mer profonde et surtout une vitesse notable. C'est principalement la grande vitesse qui détermine l'existence des remous, et c'est encore un point de similitude entre les courants des rivières et ceux de la mer. Ainsi, de même qu'autour des piles d'un pont, on ne voit que peu ou point de remous ni de tourbillons en étiage, et qu'on en distingue au fur et à mesure que les crues s'élèvent; de même, les contre-courants et les tournoiements des eaux de la mer sont à peine sensibles ou même n'existent pas dans les faibles courants, tandis qu'ils sont très-prononcés dans les fortes marées.

CHAPITRE V.

DU VENT.

Le vent ayant la plus grande influence sur les marées, l'agitation de la mer, le régime des côtes, l'entrée et la sortie des ports, nous en dirons quelques mots. Des vents.

Les vents tirent leurs noms de ceux des quatre points cardinaux, combinés deux à deux ou trois à trois. Cette division ne suffisant pas on a sous-divisé la rose de vent en 32 quarts ou rumbs de 11° 15′ chacun. Ainsi le vent dénommé nord-est un quart nord veut dire le vent dont la direction fait avec la méridienne un angle de 33° 45′ du côté de l'est. Il peut s'énoncer aussi vent de nord 33° 45′ est. Cette dernière manière de désigner les vents est susceptible de toute la précision désirable. Leur dénomination.

Rien de plus inconstant que la direction et l'intensité des vents sur les côtes de France et même d'Europe, ce n'est que vers les tropiques qu'ils offrent quelques régularités pour les époques et les directions.

On nomme vent régnant dans un port ou sur une côte, celui qui souffle le plus souvent. On l'appelle aussi vent dominant. Toutefois cette dernière dénomination entraine avec elle l'idée du vent qui a le plus de force. Du vent régnant.

Les vents les plus violents sont généralement ceux qui, venant du large, suivent la plus grande ligne droite qu'on puisse tirer sur la mer, du point que l'on considère jusqu'aux terres d'une étendue notable. Ainsi à Saint-Jean-de-Luz le plus grand vent est celui de nord-ouest dont la direction prolongée ne rencontre de terre qu'à la baie d'Hudson; à la pointe sud de Bretagne, le vent le plus fort est celui du sud-ouest qui n'a rencontré aucune terre depuis la Guyane.

Les vents régnants ne viennent pas toujours du même côté que les vents les plus forts. Ainsi à Marseille les vents régnants viennent du nord-ouest et les coups de vents du sud-est.

Dans plusieurs ports on tient note, jour par jour, de la direction et de l'intensité des vents; ces données sont de la plus grande importance pour les marins et les ingénieurs. Il serait à désirer qu'on y joignit des observations précises sur la force du vent qui, quant à présent, n'est désignée que par les expressions de *petit frais*, *grand frais*, *bonne brise*, etc.

Observations faites sur les vents dans les ports ci-dessous (pour une année).

NOMS DES PORTS.	SUD-OUEST.	OUEST.	NORD-OUEST.	NORD.	NORD-EST.	EST.	SUD-EST.	SUD.	CALME.	OBSERVATIONS.
	jours.	jours.	jours.	jours.	jours.	jours.	jours.	jours.	jours.	
Marseille.	22	58	151	6	3	37	44	29	15	Observatoire de Marseille, de 1822 à 1840.
Cette.	17	35	188	38	47	42	33	15	3	Registre des officiers de port, de 1819 à 1837.
La Nouvelle.	»	1	249	16	8	22	36	34	1	Mémoire de M. Grulet, du....., 5 années, de 1832 à 1837.
Toulon.	»	179	»	3	3	144	»	39		
Bastia.	37	33	22	65	27	1	78	71	31	Le capitaine de port, pendant 1841, 1842 et 1843.
Dieppe.	93	48	52	36	44	23	31	37	4	*Pilote français*, de M. Givry, 15 années, de 1818 à 1832.
Le Havre.	46	71	73	33	31	78	14	20	»	Mémoire de M. Renaud, 6 ans, de 1835 à 1840; point d'observations les dimanches qu'on a supposé proportionnels aux jours ouvrables.
Rochefort.	55	34	54	42	92	32	29	28	»	Observations faites à l'hôpital, 3 années, de 1835 à 1838.
Honfleur.	»	109	»	30						
Phare de Ver.	84	42	53	38	65	15	37	34	»	Observations journalières de six années, de 1837 à 1844.
Phare de Cordouan.	39	68	97	20	74	22	34	19	»	*Id.* de 5 ans et 8 mois, de 1840 à 1845.

CHAPITRE VI.

DES MATÉRIAUX DANS L'EAU DE MER.

Emploi des matériaux à la mer.

Les matériaux de construction sont dans des circonstances particulières quand ils sont plongés dans l'eau de mer, elle a sur eux une action différente de celle de l'eau douce.

Pierres.

Les pierres, quelque dures et polies qu'elles soient, et malgré le mouvement des vagues, se recouvrent souvent, et presqu'entièrement, d'une multitude de plantes et de coquillages, qui y adhèrent fortement. J'ai vu, en 1809, des enrochements exécutés en 1807, sur le banc de Boyard, fortement entrelacés par les varechs. Toutefois la quantité de ces plantes et de ces coquillages varie avec les parages et les climats. Ainsi, tandis qu'ils abondent sur la base de la digue de Cherbourg, je n'ai pu en apercevoir aucun sur le brise-lame de Cette, aussi loin que la vue pouvait pénétrer sous l'eau, et bien que les travaux eussent été abandonnés depuis plusieurs années.

Mortiers.

Il en est de même des mortiers dont la chaux, qui n'est jamais entièrement neutralisée pendant quelque temps, n'empêche pas les plantes d'y prendre racine. J'ai vu sur la digue de Cherbourg des caisses de béton coulées depuis dix jours couvertes de végétations marines.

Quant aux mortiers qui ne sont pas dans la mer, mais à une certaine distance, j'en ai souvent remarqué qui étaient décomposés, friables, recouverts et pénétrés par une efflorescence de carbonate de soude, résultat de la décomposition du carbonate de chaux par l'hydrochlorate de soude répandu dans l'air sur les bords de la mer. Pareil phénomène se remarque sur certaines pierres dont les parties les plus tendres sont attaquées.

Une anomalie fort remarquable vient d'être reconnue tout récemment dans l'action de la mer sur les mortiers qui y sont plongés. Tandis que ceux qui sont faits avec les pouzzolanes naturelles, telles que celles d'Italie et d'Andernach (Trass) résistent depuis des siècles, ceux qui contiennent *certaines* pouzzolanes artificielles sont décomposés après plusieurs mois d'immersion.

Fer.

Le fer, soit qu'il ne découvre jamais, soit qu'il ne reçoive que les hautes vagues ou même seulement la vapeur de la mer, s'oxyde à la surface, se corrode plus ou moins à l'intérieur et quelquefois avec une rapidité étonnante; ainsi j'ai trouvé en 1811 la plupart des boulons et des chevillettes du radier de l'écluse de Flessingue, construite en 1740, fortement striés par l'action électrique, de manière à ne présenter qu'une étoile au lieu d'un cercle dans la section transversale. Les boulons du radier de l'écluse de chasse de Dunkerque, construite en 1825, étaient déjà hors de service en 1836. J'ai vu, en 1837, à la même écluse, les ferrures du mécanisme des portes tournantes établies sur le couronnement du bajoyer fortement rongées, quoiqu'elles eussent été peintes plusieurs fois, et qu'elles ne fussent mouillées que par les plus hautes vagues des tempêtes; des fers d'un centimètre et demi d'équarrissage étaient réduits à moins de moitié.

Vraisemblablement l'action électrique est favorisée par la nature du fer forgé formé de plusieurs fibres ou lames en contact, et qui peuvent être considérées comme n'étant pas homogènes, puisque ordinairement elles contiennent du grain et du nerf.

La nature des fers et leur position particulière influent sans doute beaucoup sur l'action de l'eau salée. A l'écluse du bassin du Roi, construite au Havre par Vauban, Cessart trouva en 1776 (un siècle après) les boulons du radier sans corrosion, tandis que des tire-fonds qu'il mit à la même place ont été trouvés entièrement corrodés en 1837, c'est-à-dire soixante-dix ans après.

Le fer zingué est en épreuve dans plusieurs ports; jusqu'à présent les résultats ne sont pas concluants; dans certains parages il n'a point été altéré, dans d'autres il a été attaqué. Le temps et l'expérience prononceront.

Fonte.

La fonte s'altère aussi par un long séjour dans l'eau de mer; les canons des vaisseaux coulés à fond en donnent un exemple fréquent. Ceux qu'on retire après trente ans d'immersion ont l'apparence de la plombagine et se coupent au couteau.

Cuivre.

Le cuivre rouge et le bronze plongés dans la mer s'oxydent légèrement, mais ils ne paraissent pas éprouver d'autre altération, et ils y jouissent de toute leur force. Si par le moyen des *préservateurs* on arrête l'oxydation, ils se recouvrent d'une couche plus ou moins épaisse de coquillages et de plantes marines.

Mais ce que l'on doit surtout éviter dans les constructions sous-marines, c'est le contact des métaux de différente espèce, circonstance qui hâte le plus la corrosion.

Bois.

Le bois se conserve très-bien dans l'eau de mer s'il y reste constamment plongé; dans les parties qui découvrent il est assez promptement garni de plantes marines, de coquillages et surtout de moules. Mais presque toutes les côtes de France sont aujourd'hui infestées de vers *tarets* qui rongent le bois intérieurement et détruisent en peu de temps les charpentes les plus fortes.

Vers tarets.

Cet insecte, autrefois inconnu en Europe, est, à ce qu'il paraît, originaire de l'Inde, et a été importé en Hollande il y a deux cents ans dans le bois des vaisseaux de la

Compagnie des Indes orientales. Depuis lors, il a paru dans plusieurs de nos ports, où il croît et se développe avec plus ou moins de rapidité.

A Dunkerque, les bois sont attaqués et hors de service en moins de quinze ans. En visitant ce port en 1837, j'ai vu le pied de la jetée de l'ouest, construite depuis une douzaine d'années, fortement endommagée par les vers. La charpente au-dessous de mi-marée était tellement attaquée qu'on avait jugé nécessaire, en plusieurs parties, de la couvrir et de la fortifier par des ouvrages qu'on voit dans la figure 148.

A Lorient, des bois n'ont duré que trois ans; au Havre, des estacades du Hoc ont été devorées en six mois.

En 1806, j'ai constaté qu'en rade de l'île d'Aix les vers avaient mangé la *moitié* (en poids) de la coque d'un vaisseau de ligne échoué sur les rochers des Pales depuis six mois seulement.

Lorsque les vers entrent dans le bois, ils sont assez petits pour qu'on ne puisse distinguer les ouvertures par lesquelles ils y ont pénétré; ensuite ils s'y développent intérieurement et deviennent gros comme le petit doigt. Ils exercent leurs ravages à l'intérieur, et quelquefois une pièce de bois se rompt avant qu'on les aît aperçus à la surface. Ils occupent principalement la région au-dessous des mers moyennes; on les a trouvés vivant sous les basses mers d'équinoxe; on n'en voit plus au-dessus des plus faibles hautes mers. On pense qu'ils périssent au-dessous des couches de vases compactes impénétrables à l'air. Ils pullulent dans une partie d'un port, tandis qu'il y en a peu dans une autre : ainsi ils ont dangereusement attaqué la jetée ouest de Dunkerque, et très-peu la jetée est.

Les moyens de préserver les bois des attaques des verts *tarets*, ont exercé les recherches des ingénieurs de toutes les contrées, et notamment des Hollandais auxquels ils sont plus funestes, puisqu'ils ruinent les nombreux ouvrages en charpente et en fascines qui assurent l'existence du pays.

On a employé contre les vers le mailletage en clous de fer, le doublage en cuivre rouge, le mailletage en clous de cuivre, le doublage en zinc, des enduits de vert-de-gris, de ciment de Pouilly et la pénétration des bois par des substances salines. Moyen d'en préserver les bois.

Les Hollandais ont depuis longtemps employé le mailletage en clous de deux à trois centimètres de diamètre à la tête : ils ne peuvent couvrir entièrement la surface des bois, quelque rapprochés qu'on les place, mais bientôt il se forme une couche générale d'oxyde qui cache tous les vides entre les têtes; dans les mers vaseuses, telles qu'elles sont sur les côtes de la Hollande, les dépôts de limon se combinent avec l'oxyde, et au bout de quelques années le résultat du mailletage est une croûte de plusieurs millimètres d'épaisseur dans laquelle la tête des clous a presque disparu. Elle a une dureté suffisante pour arrêter les vers qui, d'ailleurs, sont peut-être repoussés par l'oxyde.

Dans les angles rentrants des charpentes importantes, comme les portes et busqués d'écluses, où l'on a besoin d'un contact exact, on emploie de petits clous très-rapprochés.

Le mailletage, quoique non absolument efficace contre les vers, est généralement adopté dans le nord de l'Europe, mais coûte fort cher quand les clous se touchent. Il a le grand avantage de s'adapter facilement à toutes les formes des charpentes, de pouvoir être employé sur les pieux avant le battage, et par conséquent de s'étendre jusque sous la vase.

Le mailletage en clous de cuivre a sur le précédent l'avantage de produire un oxyde qui paraît être vénéneux pour les vers, mais il est encore plus cher. Les têtes de 0m,012 en carré font un système plus jointif employé par les Anglais.

Le doublage en cuivre est excellent, mais s'applique très-difficilement aux angles rentrants des charpentes.

Le doublage en zinc n'est pas de longue durée. J'ai vu à Ostende, en 1835, des portes, ainsi garanties, dont le doublage, qui dans l'origine avait 0m,007 d'épaisseur, était réduit à 0m,001 en quelques années. D'ailleurs les clous de zinc, trop mous, ne se fixent pas bien au bois; et si on emploie les clous de fer, comme on l'avait fait à une porte d'Ostende, le zinc se corrode en peu de temps sous la tête des clous, et les feuilles de doublage ne sont plus retenues.

L'enduit en céruse et vert-de-gris, essayé en Hollande, serait bon, mais il est très-difficile à poser et à faire tenir sur les bois toujours plus ou moins humides.

Le ciment de Pouilly, essayé dernièrement à Lorient, est assez bon. Il se pose comme le plâtre au moyen de clous qui le retiennent contre le bois auquel il est d'ailleurs adhérent lui-même. Il serait difficile de l'appliquer aux pieux avant le battage qui l'en détacherait; il ne peut donc descendre au-dessous de la vase.

Enfin, on est en cours d'essai sur les bois pénétrés de dissolutions d'hydrochlorate de mercure et de pyrolignite de fer; le temps apprendra ce que l'on doit penser de ces procédés.

Si les moyens de conservation dont nous venons de parler peuvent réussir sur les charpentes, on conçoit que rien ne peut préserver les ouvrages de fascinage.

Autres vers.

Il y aussi d'autres vers qui attaquent les bois à la surface et ne pénètrent dans l'intérieur qu'après avoir criblé les premières couches d'une infinité de petits conduits cylindriques séparés par des cloisons presque imperceptibles. Ces vers sont à peine gros comme une épingle. Pour en préserver les charpentes, il suffit de les revêtir d'un doublage en bois de 3 centimètres d'épaisseur que l'on renouvelle quand il est dévoré, c'est-à-dire au bout de deux à trois ans.

CHAPITRE VII.

DES PORTS, DES RADES.

Un port est une partie de la mer où les vaisseaux trouvent un abri contre l'action des flots et du vent, et où il y a toujours assez d'eau pour qu'ils puissent accoster les quais destinés aux chargements et déchargements. Des ports.

Cette dernière condition établit une grande différence entre les ports de la Méditerranée et ceux de l'Océan, puisque dans les premiers le niveau de l'eau est presque constant, tandis que dans les seconds il s'abaisse et s'élève deux fois par jour.

Dans la Méditerranée les bâtiments sont toujours à flot, et les ouvrages doivent être fondés à une grande profondeur sous l'eau. Dans l'Océan, les vaisseaux qui sont à flot qnand la mer est haute, échoueraient le plus souvent quand elle est basse, d'où résulte la nécessité d'ouvrages particuliers inutiles dans la Méditerranée.

Un port peut être précédé d'une rade. Une rade est une étendue de mer enfermée en partie par des terres plus ou moins élevées, et qui présente un mouillage à l'abri des vents et de la grosse mer, venant d'une certaine direction. Des rades.

Les rades qui offrent peu d'abri contre le vent et qui sont ouvertes au large, sont nommées rades foraines.

Pour les navires à la mer, les rades sont des lieux de repos où ils se réfugient momentanément pendant les gros temps pour continuer leur route plus tard.

Pour les navires en partance, c'est un lieu propice où ils attendent les vents par lesquels ils peuvent appareiller.

Pour les navires qui atterrent, c'est un mouillage convenable où ils peuvent attendre les circonstances favorables à leur entrée dans le port, telles que la mer haute dans un port d'échouage de l'Océan, le remorquage si le vent est contraire, etc., etc.

Une rade est de la plus grande utilité pour un port. Un navire qui vient du large ne peut pas toujours y entrer au moment de son arrivée, soit parce que le vent est con-

traire ou trop fort, soit parce que les courants sont trop violents, soit parce que la marée n'a pas encore assez monté, etc.; il faut donc qu'il puisse attendre le moment propice; or, souvent il ne peut croiser devant le port, il est donc nécessaire qu'il y trouve une rade ou au moins un ancrage possible.

Il en est de même si les navires partant veulent gagner la pleine mer, souvent ils doivent profiter sans perdre un moment d'un vent favorable, rarement ils peuvent courir leur première bordée de l'intérieur du port, et comme ils ne peuvent rester à l'entrée où ils éprouveraient une grosse mer et où ils gêneraient les navires arrivant, il faut qu'ils puissent se tenir plus en dehors; il leur faut donc un mouillage.

S'il s'agit d'une escadre, d'une division ou de bâtiments de guerre devant naviguer ensemble, il faut qu'ils puissent appareiller au premier signal pour gagner le large, ce qui ne peut avoir lieu depuis l'intérieur d'un port. Il faut donc encore une rade où ils stationnent tous provisoirement pour partir presque simultanément, et il est passé en principe dans la marine militaire que pour les vaisseaux et encore plus pour les escadres, *il n'y a pas de bon port sans rade.*

On voit que, quelles que soient les facilités que pourrait présenter un port heureusement situé pour y entrer ou pour en sortir, il y aura toujours des circonstances où une rade ou au moins un mouillage devra être l'intermédiaire forcé entre le port et la pleine mer, et nous dirons deux mots des manœuvres au moyen desquelles les bâtiments iront de la rade dans le port et réciproquement, parce que devant être favorisées par la position des ouvrages en avant du port, ceux-ci doivent être conçus et projetés dans cette prévision.

Lorsque le trajet dont il s'agit ne peut se faire à la voile, ce qui arrive quelquefois pour les bâtiments du commerce et toujours pour les vaisseaux de haut bord, on emploie le remorquage ou le touage.

Du remorquage. Le remorquage consiste à tirer un bâtiment au moyen d'un cordage attaché d'un bout à ce bâtiment et de l'autre à une embarcation quelconque qui se meut soit à la voile, soit à la rame, ou enfin par la vapeur.

Du touage. Le touage consiste à amarrer un cordage à un point fixe vers lequel on veut faire arriver un bâtiment, et à enrouler l'autre extrémité sur un cabestan placé dans ce bâtiment. On conçoit qu'en faisant tourner le cabestan par l'équipage, le bâtiment approche du point fixe. Celui-ci, s'il est au large, est un ponton ou simplement une bouée, portant quelquefois le nom de corps-mort, et qui est fixée au fond au moyen d'une ou plusieurs ancres.

Sa position doit être telle, que le bâtiment qui s'en est approché par le touage, puisse de là appareiller et courir sa première bordée sans danger. Il y a donc quelquefois plusieurs bouées selon la force et la direction du vent.

De l'espace des mouillages. Lorsqu'une escadre est mouillée dans une rade, chaque bâtiment tournant autour de son ancre selon les vents et les courants, à moins qu'il ne soit affourché, doit avoir autour de lui un espace libre pour *éviter*, sans gêner son voisin; si une escadre arrive

au mouillage, cet espace doit être encore plus grand; ainsi, une rade ne peut contenir qu'un certain nombre limité de bâtiments; on compte environ deux encablures pour chaque vaisseau de guerre, et moitié moins pour les forts navires marchands.

Les rades ne peuvent être que des données de la nature; leur dimension exclut la possibilité de les créer entièrement, mais l'art peut ajouter quelques dispositions favorables; c'est ainsi qu'à Cherbourg, à Plimouth, au cap de Bonne-Espérance, etc., on a couvert les rades de ces ports par des digues; c'est ainsi qu'à Lorient on augmente par le dragage le nombre des mouillages qui se trouvaient naturellement dans la rade, et qu'on pourrait faire de même à Toulon.

Autant que faire se peut, un port se place au fond d'une rade ou d'une baie.

En général, la tranquillité d'un port s'obtient lorsqu'il est éloigné de l'entrée de la rade ou du golfe qui le précèdent, lorsqu'il en est séparé par un chenal sinueux, lorsqu'enfin il est fermé ou couvert par des ouvrages particuliers auxquels on donne le nom de brise-lames, de môles, de jetées, et qui arrêtent la communication directe des ondulations du large. Nous supposons d'ailleurs le port abrité des vents par le relief des terres qui l'entourent. Les môles ou les jetées, tout en remplissant ce but, doivent encore faciliter l'entrée et la sortie des bâtiments. A cet égard, il est difficile d'apprécier leur influence sans connaître les manœuvres que doivent faire les navires entrant ou sortant. Je décrirai donc sommairement celles qui ont lieu dans quelques ports, et avant tout je ferai deux observations sur ce sujet.

Brise-lames. Môles. Jetées.

La première est que dans les dispositions des môles et des jetées, on a généralement plus égard à l'entrée qu'à la sortie, parce que les bâtiments attendent sans danger dans un port les circonstances favorables pour en sortir, ce qu'ils ne peuvent pas toujours faire au large pour entrer.

Entrée et sortie des ports

La seconde observation est que la plupart des ports de l'Océan, n'ayant pas assez d'eau pour qu'on y entre ou qu'on en sorte à d'autres moments que ceux qui précèdent ou suivent la pleine mer, le courant de flot joue toujours un rôle important dans ces manœuvres, surtout dans la Manche où nous avons vu que ce courant régnait avant et après le plein.

Port de Dunkerque (*fig.* 117). Les bâtiments ne peuvent entrer ou sortir qu'à mer haute. Le courant de flot qui porte à l'est-nord-est a $1^{m},40$ de vitesse maximum devant les jetées. Les vents régnants sont nord-ouest inclinant plutôt à l'ouest.

à Dunkerque,

Le vent étant ouest et modéré, un navire entrant se placera dans le nord-ouest des jetées et viendra grand largue raser le musoir de la jetée ouest pour donner dans le chenal, en suivant à peu près la ligne *aaa*.

Si le vent est très-fort, il craindrait par la manœuvre précédente d'être poussé sur la jetée est; il se tiendra donc plus au large, dépassera un peu les jetées, et reviendra au plus près donner dans le chenal qu'il suivra, après avoir abattu une grande partie de ses voiles, en se faisant soutenir contre le vent par des haleurs placés sur la jetée ouest. Sa marche sera à peu près la ligne *bbbb*.

Si, dans les mêmes circonstances, un bâtiment voulait sortir, il se ferait haler sur la jetée ouest, aussi loin que cela serait possible, il appareillerait en orientant au plus près, de manière à ce qu'en profitant de la vitesse acquise par le halage il commencerait sa première bordée en passant au vent du musoir de la jetée est. Mais s'il avait assez d'eau au moment où le courant de flot a cessé, c'est-à-dire une heure et demie environ après le plein, la manœuvre serait plus commode et plus sûre.

à Dieppe, *Port de Dieppe* (*fig.* 79). L'entrée et la sortie n'ont lieu qu'à mer haute; alors il y a courant de flot portant à l'est-nord-est. Les vents régnants sont du nord au sud-ouest par l'ouest. Si le vent est nord-ouest, ou nord, ou nord-est, un bâtiment voulant entrer se placera dans le nord-ouest des jetées, et quand il sera à peu de distance des musoirs, il donnera dans le chenal suivant hx, grand largue ou vent arrière, après avoir dépassé le musoir de l'ouest d'environ cent mètres, et se trouvant assez près de la jetée, le maître haleur placé en z lui jettera l'amarre qui servira, le vent étant ouest, à le conduire dans l'intérieur du port.

Le vent étant ouest ou sud-ouest, le navire ira d'abord se placer dans l'ouest des jetées et viendra raser le musoir de la jetée ouest pour y recevoir l'amarre; il court la chance de manquer l'amarre et l'entrée, ou de se jeter sur la jetée est.

Ce qui augmente la difficulté de cette dernière manœuvre, c'est l'existence constante d'un poulier de galet appuyé contre la face intérieure du musoir de l'ouest. Ce banc s'avance plus ou moins vers l'axe du chenal, selon la direction et la force des vents qui ont régné précédemment, et selon qu'il a été possible ou non de faire des chasses.

Sans ce banc les navires viendraient raser les musoirs de l'ouest, et en loffant se porteraient immédiatement dans l'intérieur du chenal, mais la hauteur plus ou moins prononcée du banc empêche cette manœuvre, et ce n'est qu'en suivant une ligne à peu près est-nord-est et presque tangentielle au musoir de l'ouest, qu'un navire peut s'en rapprocher assez près pour y recevoir l'amarre qui le ramène dans le chenal, dont le vent, le courant et son aire tendent à l'éloigner; dans le cas contraire il est jeté vers le musoir est.

Par les vents de l'est au nord-ouest, par l'ouest, on peut sortir à la voile ou en se faisant haler, tantôt sur la jetée est, tantôt sur la jetée ouest. Par les vents de nord-est, la grande saillie de la jetée de l'ouest, et plus encore le banc de galet appuyé sur la face intérieure rendait la sortie très-difficile avant qu'on eût prolongé la jetée de l'est. Aussi avait-on jusqu'à deux reprises raccourci la jetée de l'ouest, mais alors on avait augmenté les dangers de l'entrée.

à Fécamp, *Port de Fécamp* (*fig.* 119). Les navires entrent au flot presque à l'étale de haute mer, alors le courant porte toujours au nord et est très-fort au large : par les vents régnants qui sont du nord-ouest au sud-ouest par l'ouest, les bâtiments qui veulent entrer se tiennent toujours au sud des jetées, et ils viennent à la voile donner dans le milieu du chenal qu'ils peuvent suivre jusque dans l'intérieur de l'avant-port dont la disposition leur permet d'user leur aire.

Si les vents sont du sud ou de l'est, les navires entrants se tenant toujours au sud de la passe, viennent avec leur dernière bordée raser le musoir sud, abattent immédiatement leurs voiles, s'avancent avec leur aire jusque contre la jetée nord, d'où ils se font haler à la cordelle jusque dans l'intérieur de l'avant-port.

Port du Havre (*fig.* 114). Les vents régnants au Havre sont du sud-ouest au nord-ouest par l'ouest; ils soufflent pendant plus de la moitié de l'année, et les vents d'est et de sud-est pendant le quart du temps. La mer garde son plein pendant deux heures. au Havre.

Le courant de flot portant en Seine a une grande vitesse qui s'élève dans les syzygies jusqu'à $2^m,00$ et $2^m,50$, à quelques encablures des jetées. Au fur et à mesure que ce courant s'établit, il se forme un grand tournant à l'est de la jetée nord, et il y a un contre-courant devant l'entrée des jetées. La figure 114 représente cet effet du flot quatre heures après basse mer.

Le plein commence à peu près à cette dernière époque; car il y a au Havre un peu plus de cinq heures de montant, et un peu plus de sept heures de perdant.

Au fur et à mesure que le grand courant portant en Seine s'affaiblit, le contre-courant augmente de vitesse et d'étendue.

Les bâtiments qui entrent au Havre craignent deux choses : la première, d'être jetés, s'ils manquent l'entrée, sur les bancs au sud-est du port; la seconde, d'être poussés sur les bancs immédiatement dans le sud de la jetée sud, appelé *Poulier* du sud. Ils ne se présentent donc à l'entrée des jetées qu'un peu après le commencement du plein, époque où ils trouvent à la fois le plus d'eau dans le chenal, et où le courant de flot, portant sur les bancs à l'embouchure de la Seine, a peu d'action sur eux.

Si les vents sont ouest et sud-ouest, les navires voulant entrer se tiennent à une lieue dans l'ouest du port, et viennent donner dans la passe, vent arrière ou grand largue. Ils suivent le chenal à la voile et pénètrent ainsi dans l'avant-port. Si les vents sont forcés, ils abattent successivement leurs voiles, et même mouillent une ancre avant d'arriver au fond du port; ils ont d'ailleurs la ressource de virer dans le vent, dans l'avant-port, dont la disposition est favorable à cette manœuvre.

Si les vents sont nord-ouest, les navires se tiennent en petite rade au nord-ouest du port, et viennent au plein, vent arrière ou grand largue, raser le musoir de la jetée nord, où ils peuvent abattre leur voile et se faire haler sur la jetée nord.

Si les vents sont sud et sud-est, les navires venant de la Manche se laissent drosser par le courant de flot, et viennent dans le sud du port attendre en courant bord sur bord le commencement du plein; alors ils arrivent vent arrière ou grand largue dans la passe en rasant le musoir de la jetée sud pour éviter d'être jetés par la force du contre-courant contre la jetée nord, ensuite des haleurs sur la jetée sud les conduisent dans l'avant-port.

Par les vents de nord et nord-est, on n'entrait pas au Havre autrefois; mais aujourd'hui le grand nombre de navires qui arrivent dans ce port (6,000 par an), a permis

l'entreprise de remorqueurs à la vapeur qui vont prendre les bâtiments en rade et les amènent dans le port.

Pour sortir du Havre par les vents de l'ouest au nord-ouest, qui sont les vents régnants, on hale les bâtiments de la jetée nord, au commencement du plein, on les conduit ainsi le plus loin et le plus vite possible jusqu'à l'ouvert des jetées d'où les navires appareillent. Le reculement du musoir de la jetée sud leur permet de dériver un peu au vent sans craindre de la toucher, mais le banc (*poulier*) du sud les gêne davantage.

Par les vents du nord à l'est on sort à la voile.

Autrefois, on ne sortait point du Havre par les vents de sud-ouest qui sont dans la direction du chenal et souvent très-violents; mais aujourd'hui, aussitôt que les navires ont assez d'eau sur la passe, les steamers remorqueurs peuvent les conduire en rade où ils mouillent; ils y attendent pour appareiller que les courants de jusant les aident, dans leur première bordée, à se dégager de la côte et à entrer en pleine Manche.

Lorsque la mer est très-grosse, le remorquage des steamers est peu efficace, mais dans toute autre circonstance, et lors des vents défavorables, les bateaux à vapeur offrent un secours dont les bâtiments d'un certain tonnage profitent souvent et qui finira par devenir d'un usage général. Les jetées, comme nous l'avons dit, perdront donc beaucoup de leur importance sous le rapport du halage à l'entrée et à la sortie.

à Marseille.

Port de Marseille (*fig.* 127). Il offre un calme parfait et toute la profondeur désirable; mais ces avantages sont achetés par les difficultés d'entrée et de sortie.

Par suite de la position singulière du goulet, faisant face au nord-ouest, les vents favorables à l'atterrage de Marseille, c'est-à-dire ceux de l'est et du sud-est, amenant les navires du Levant et de l'Italie, sont contraires à l'entrée du port, tandis que les vents d'ouest et nord-ouest, favorables pour faire route en quittant Marseille, sont contraires pour en sortir.

Les vents dominants sont ceux d'ouest et nord-ouest soufflant pendant deux cents jours de l'année. Ceux de l'est et du sud-est soufflent pendant cent jours.

Par les vents de nord-ouest et d'ouest les navires donnent en plein jusque dans le goulet; toutefois ces vents sont souvent si violents qu'on n'ose alors s'approcher des côtes, et qu'on préfère rester au large pour éviter les dangers d'un vent trop favorable. Par les vents d'est et de sud-est, les navires qui viennent à Marseille rangent la côte depuis le cap d'Andoune, s'en approchent autant que le fond le permet et parviennent ainsi jusqu'à la pointe du Pharo, où ils cherchent à s'amarrer aux canons plantés à cet effet sur le rivage, d'autres arrivent plus au large et s'amarrent aux bouées de la rade *m m*; de là ils se font touer dans le port.

Quant à la sortie, elle s'opère facilement par les vents d'est et sud-est, mais ceux d'ouest et de nord-ouest lui sont tout à fait contraires; néanmoins, la gêne qu'en éprouve le commerce n'est pas très-grande, puisque sur sept mille navires sortant annuellement

de Marseille, à peine huit cents ont-ils recours au remorquage à vapeur. Les autres préfèrent se touer sur les bouées ou attendre des vents favorables.

D'ailleurs, les vents de nord-ouest sont quelquefois si violents que les navires, fussent-ils arrivés aux bouées, n'oseraient appareiller, craignant d'être affalés dans le golfe sans pouvoir se dégager de la côte.

On voit que, soit pour atteindre l'entrée par les vents de sud et sud-est, soit pour sortir par les vents d'ouest et de nord-ouest si fréquents, les bouées sont indispensables. Aussi, y en a-t-il quatre à différentes distances dans la rade de Marseille.

Une partie des inconvénients dont je viens de parler disparaîtrait si on couvrait le goulet par un môle, mais la grande convenance de conserver l'entrée par la pointe du Pharo, lors des vents d'est et de sud-est, et de commencer l'appareillage le plus loin possible de la côte par les vents d'ouest et de nord-ouest, engagerait à sacrifier quelque chose du calme devant le goulet, en ouvrant une passe au sud de ce môle, lequel, en conséquence, serait isolé.

Il a été question de la construction de cet ouvrage, combiné avec l'agrandissement du port de Marseille, dont l'insuffisance se fait sentir chaque jour de plus en plus. Tout le monde reconnaissait la nécessité de conquérir l'agrandissement sur la mer, en plaçant le port auxiliaire vis-à-vis l'anse de la Tourette, et en le couvrant d'un môle; mais on n'était pas également d'accord sur la convenance et la position d'un brise-lame qui aurait couvert l'entrée des deux ports.

De tous les plans proposés, il n'y en a pas eu de plus ingénieux que celui dont voici la disposition principale.

Remarquant que les vents régnant à Marseille sont ceux du sud-est et du nord-ouest, qui ont lieu pendant plus de trois cents jours de l'année, que les premiers sont favorables pour faire route en venant à Marseille, et les seconds en quittant ce port, que, quoique soufflant en sens contraire, ils avaient la même direction, l'auteur du projet (1) avait conçu l'idée d'un brise-lame *a b c* qui, courant à peu près nord-est et sud-ouest, aurait permis aux navires d'arriver et de partir grand largue; sous son abri, l'appareillage, le mouillage et le touage devaient d'ailleurs s'effectuer facilement.

Le brise-lame laissait deux passages aux navires : l'un faisant face au sud-sud-ouest, et l'autre au nord-nord-est. L'arrivée par les vents de l'est-sud-est, et le départ par les vents de l'ouest-nord-ouest, qui sont les vents dominants, avaient lieu, comme nous l'avons dit, grand largue et sans aucune difficulté, et les bâtiments sous le couvert des môles n'étaient plus obligés de se touer, exposés à la double action du vent et de la mer.

L'idée de substituer aux difficultés ordinaires de l'arrivage et du départ la manœuvre simple de courir une bordée grand largue était heureuse, cependant elle n'eut point l'assentiment des marins du port.

---

(1) M. Bernard, inspecteur général des ponts et chaussées.

Ils faisaient observer qu'aujourd'hui on n'est plus inquiet sur la sortie de Marseille par les vents de nord-ouest, parce que, dans le cas où ils sont trop violents, les navires ne peuvent appareiller depuis les bouées ni faire route au delà, et que dans le cas où les vents permettent l'appareillage, les navires se font touer ou remorquer à la vapeur jusqu'aux bouées.

Que d'ailleurs, la difficulté de sortir du goulet par le mistral ne venait pas de la houle, mais de l'impression de ce vent sur les navires, et que le brise-lame était trop éloigné et trop peu élevé pour les en garantir.

Que relativement à l'entrée par les vents de l'est au sud-est qui s'y opposent, le touage, à partir des bouées, était toujours facile par ces vents, à cause du calme de la mer et de l'abri de la côte.

Qu'enfin, il n'était pas rare de voir arriver à la fois en rade 50, 80 et même 100 navires venant du Levant ou d'Italie, et qui avaient attendu les vents d'est pour atterrer à Marseille; qu'en conséquence, il fallait pour les recevoir au mouillage que les abords des bouées auxquelles ils s'amarrent fussent débarrassés de tout obstacle.

Les marins-pratiques du port ont paru moins touchés de la plus grande facilité des manœuvres que pouvait procurer le brise-lame, qu'inquiets du rétrécissement qu'il opérait sur la rade; et ils ont tenu, avant tout, à ce que la deuxième bouée, qui est le centre des arrivages et des départs, restât libre au milieu des eaux. Ce sont ces motifs qui ont fait renoncer à un brise-lame.

CHAPITRE VIII.

DU RÉGIME DES CÔTES.

L'établissement d'un môle ou d'une jetée apporte souvent des perturbations dans la marche des alluvions littorales, et par là peut diminuer les profondeurs aux abords d'un port ; pour prévoir autant que possible ces influences, il faut, avant de projeter les ouvrages dont nous parlons, bien étudier ce qu'on peut appeler le régime de la côte, c'est-à-dire les actions naturelles qui l'entretiennent dans un état permanent ou qui produisent les changements qui s'y opèrent avec le temps. Du régime des côtes.

L'examen des côtes de France démontre que sur plusieurs points la mer avance sur les terres, que sur d'autres elle est à peu près stationnaire, et que sur d'autres enfin c'est la plage qui repousse la mer. Tel est le résultat, eu égard aux parties des côtes qui ne sont ni trop saillantes ni trop rentrantes. Quant aux renfoncements plus ou moins brusques, comme les anses, les criques, les embouchures de rivières ou de ruisseaux où sont établis les ports, ils sont presque toujours le lieu d'atterrissements divers.

Les côtes formées de roches de granite, de porphyre, de schistes, de gniess, etc., etc., comme en Bretagne, dans la basse Normandie, sur quelques points de la Provence et du Roussillon, sont à peu près stationnaires et les renfoncements ne se remplissent que d'une petite quantité de vase et de sable. Côtes de roches très-dures,

Les falaises de Normandie, formées de roches calcaires avec silex, sont ruinées par le pied. Chaque année, des tranches verticales se détachent de la masse par l'effet des vagues et des gelées ; les débris, remués continuellement aux pieds des falaises, se brisent en mille morceaux ; la craie, réduite peu à peu en particules assez fines pour rester en suspension, est entrainée par le courant littoral dominant qui porte au nord-est. de craie en Normandie.

Les parties siliceuses s'arrondissent et forment une masse énorme de galets. Ces cailloux, poussés par les grandes vagues qu'élèvent les vents d'ouest, montent dans

Marche des galets.

cette direction sur le talus des côtes, retombent suivant la ligne de plus grande pente, sont élevés de nouveau dans la première direction, retombent encore dans la seconde, et marchent ainsi en zig-zag. Par un effet combiné des directions de la côte et des vents dominants, ils avancent vers le nord-est dans le nord du cap d'Antifer, et vers le sud-ouest dans le sud de ce même cap. Ne pouvant dépasser d'un côté l'embouchure de la Somme et de l'autre celle de la Seine, ils s'accumulent sur la rive gauche de la première rivière et sur la rive droite de la seconde; dans leur passage, ils pénètrent dans les ports qu'ils rencontrent et les encombrent. Ainsi, on compte qu'il en arrive annuellement environ 10,000 mètres cubes au Havre, et 20,000 à Dieppe.

Quantité.

Marche de la pointe du Hourdel.

Si on jette les yeux sur la carte de l'embouchure de la Somme (*fig.* 5), on reconnaît que la pointe du Hourdel marche dans le nord-est, tandis que la côte de la rive droite de la rivière qui lui est opposée recule dans le nord. J'ai trouvé dans les archives de la marine un ancien plan sans date, mais qui ne peut remonter plus loin que 1680 et dont l'exactitude est confirmée par la position des points fixes, qui indique les mouvements dont je parle; il vient fournir une preuve de ce qu'on lit dans le mémoire si remarquable de Lamblardie sur les côtes de Normandie; relativement à l'embouchure de la Somme, il dit : « Cette rivière est poussée vers le Marquenterre par l'extension » de la pointe du Hourdel, comme la Seine l'est elle-même vers la côte d'Honfleur par » la pointe du Hoc, et l'on verra dans les temps à venir l'embouchure de la Somme se » joindre à celle de l'Authie après avoir détruit toute la côte de Saint-Quentin. »

Des plans plus récents de la pointe du Hourdel (*fig.* 6) démontrent que depuis 1780 elle s'est avancée dans l'est d'environ neuf mètres par année. Si on admettait la date de l'ancienne carte dont j'ai parlé, l'avancement dans le nord-est serait moyennement de dix-huit mètres.

La destruction de la côte nord de la haute Normandie (évaluée à une épaisseur annuelle de $0^{m},30$), la formation du galet par l'arrondissement des débris de silex, et la marche de ce galet selon la direction du vent par rapport à celle de la côte, sont des faits bien établis. Ainsi, tandis qu'en Normandie le galet marche dans le nord-est par les grands vents d'ouest inclinant au nord, sur les côtes d'Angleterre, qui sont vis-à-vis, il avance dans la même direction par les grands vents d'ouest inclinant au sud. Le galet ne retourne pas, attendu que les vents d'est et nord-est dans la partie de la Manche au sud-ouest du détroit ne sont ni si forts ni si fréquents que les vents qui l'ont amené.

Des galets sur la côte d'Angleterre,

Les galets, en Angleterre comme en France, ne dépassent pas une certaine limite : ainsi, après avoir franchi le port de Douvres, qu'ils encombrent, ils ne dépassent point Deal-Beach. Là, la côte courant nord et sud et les vents du sud n'étant pas, sur ce point, plus forts que ceux du nord-est, les galets sont arrêtés et souvent repoussés par les vagues qui ont cette dernière direction. Déjà à Douvres on les voit quelquefois stationnaires ou même renvoyés dans le sud par les très-grands vents du nord-est. Quant à leur masse, elle n'augmente point comme au Hourdel, sans doute parce que sans cesse menés et ramenés entre Douvres et Deal, les galets finissent

ne dépassant point Deal-Beach.

par se broyer, s'user et se réduire en sable, lequel, entraîné par le courant, va engorger Sand-Wich, Ramsgate et la Tamise.

Les galets ont d'ailleurs beaucoup de peine à dépasser certaines parties rentrantes de la côte d'Angleterre, telle que la baie du port de Rye jadis si florissant, mais qui a été peu à peu envahi par les alluvions de toute espèce, les galets s'y arrêtant plus ou moins, ne cheminent que difficilement sur la côte qui, entre Rye et Dungeness, fait face au sud-sud-ouest. Déjà du temps de Smeaton (1763) ils couvraient près de deux cents hectares de terrain et augmentaient chaque jour. L'ancien phare de Dungeness se trouve aujourd'hui à sept cents mètres de la pointe du cap ; et depuis quarante-sept ans que le nouveau phare est construit, cette pointe s'est avancée dans la mer de cent huit mètres.

Le galet affecte des talus qui lui sont propres sur les côtes qu'il garnit. La *fig.* 159 représente le profil de ces talus que j'ai relevés contre la jetée ouest de Dieppe.

Les courants des marées paraissent n'avoir aucune action sur la marche des galets, mais il n'en est pas de même des plus petits débris du silex qui produisent un sable plus ou moins fin. Celui-ci ne s'arrête pas aux limites des galets, ainsi on le voit pénétrer en grande quantité dans l'embouchure de la Somme, dépasser cette rivière, marcher jusqu'à Dunkerque et peut-être jusqu'en Hollande.

Les courants sans action sur les galets.

Un résultat remarquable de la marche des galets, c'est que si elle était arrêtée par un moyen quelconque, l'action de la mer, qui s'épuise à les remuer devant la partie de la côte où ils voyagent, aurait lieu sur la côte elle-même, et celle-ci n'étant plus défendue ni garantie par l'enveloppe mobile qui la recouvre, serait remuée et agitée à son tour par les vagues. Les sables, les terres qui la forment dans certaines parties basses s'useraient donc de plus en plus par leur frottement, se réduiraient bientôt en vase et en parties fines emportées par le courant littoral, ou au moins hors d'état de résister à la mer qui s'avancerait dans les terres, et la côte serait peu à peu rongée.

Le galet protége la côte.

C'est ce que l'expérience a fait voir dans certaines circonstances où l'éboulement de falaises considérables ayant arrêté pour un temps la marche du galet, la partie de la côte abritée par l'éboulement contre le galet, et qui n'en recevait plus, s'étant trouvée bientôt dégarnie de celui qui avait passé précédemment et qui poursuivait son chemin, s'est dégradée au point d'alarmer vivement les populations riveraines et de nécessiter des ouvrages de défenses.

Ainsi Smeaton, dans un rapport sur Douvres (juin 1769), rapporte que : « le terrain » entre la retenue du Pent, au nord-est du port, et la mer (*fig.* 204), était si étroit » qu'on craignait qu'elle n'y fît une brèche et qu'elle se jetât dans ce bassin ; mais un » grand éboulement étant survenu à la falaise du château de Douvres une quantité » considérable de galets fut retenue devant le terrain en question et le défendit aussi » longtemps que les débris de l'éboulement existèrent ; la mer les ayant à la fin em- » portés, la barrière risquait de nouveau d'être rompue, si, éclairé par l'observation de » ce fait, on n'avait été conduit à établir un éperon au même endroit. C'était vérita-

» blement une judicieuse construction; le but fut parfaitement atteint par la retenue » d'une certaine quantité de galets qui garantit la côte. »

Un éboulement considérable arrivé à la Hève, près du Havre, en janvier 1831, eut des résultats analogues.

Ces exemples prouvent qu'on ne doit changer le régime d'une côte qu'avec réserve; ils indiquent aussi que vraisemblablement tous les rivages tendent à la corrosion par les attaques incessantes de la mer, et que s'ils ne marchent pas à leur destruction, c'est par une suite du régime général qui en fait au contraire le lieu de dépôt ou de passage d'alluvions auxquelles ils doivent leur accroissement ou leur conservation.

Côtes sablonneuses.

Lorsque les côtes sont sablonneuses elles paraissent être en voie de formation et d'atterrissement. C'est ainsi que les côtes du golfe de Lyon, entre Marseille et Port-Vendres, paraissent avancer peu à peu sur la mer. Ces côtes reçoivent sur leurs bords l'immense quantité de sables charriés par le Rhône et les autres rivières torrentielles qui se précipitent aux moindres crues des Cévennes, des montagnes Noires, des Corbières et des Pyrénées. Ces alluvions se déposent près des embouchures, de là par l'effet du courant de la Méditerranée, elles se répandent sur tout le littoral, y forment des étangs nombreux dont les communications avec la mer s'appellent Graus. La profondeur de ceux-ci est entretenue par les courants alternatifs qu'y déterminent les marées dues aux vents. Quand le vent vient du large, la mer s'élève sur la côte et dans les étangs; quand ensuite le vent souffle de terre, la mer s'abaisse, les étangs se vident par les Graus qui s'approfondissent; mais peu à peu ils s'obstruent et se ferment. Aussi presque tous les ports de cette côte sont-ils en voie d'engorgement. C'est ce que démontrent l'embarquement de Saint-Louis pour la croisade à Aiguemorte, et tout récemment les vains efforts de l'art pour conserver le port de Cette.

Dans l'Océan, sur les côtes de Flandre, de Picardie, de Saintonge, de Gascogne on voit l'estran augmenter et des dunes se former, comme entre le cap Grinez et Newport, entre Gravelines et Dunkerque. Mais en même temps la mer attaque l'estran sur d'autres points comme au nord-est d'Ostende et à la pointe de Grave. Le premier fait est démontré par la nécessité des nombreux ouvrages de défense qu'on entretient à Blankemberg, le second est prouvé par la comparaison des plans de la pointe de Grave levés en 1770 et en 1838 (*fig.* 100); ils font voir que depuis 68 ans la côte ouest de la pointe du Médoc est envahie par la mer, la corrosion a été de 1,600 mètres à l'extrémité nord, et de 270 mètres à douze kilomètres dans le sud du premier point.

Marche de la pointe de Grave.

Brémontier a donné la preuve que, près de la Teste, la côte avait reculé dans l'est de plus de 200 mètres de 1754 à 1790, c'est-à-dire en 36 ans. Ce régime de la côte existait déjà il y a 260 ans à la pointe de Médoc, ainsi que l'écrivait Montaigne en 1580.

Marche du sable des côtes,

Sur les côtes sablonneuses la marche des alluvions littorales est soumise à deux actions puissantes bien connues, les courants et les vents.

par les courants,

Lorsque la mer est fortement agitée, elle soulève le sable du fond, il reste quelques instants suspendu, et c'est pendant ce temps plus ou moins long qu'il obéit aux courants,

même les plus faibles. Chaque grain de sable s'élève et retombe non pas verticalement, mais suivant une courbe, et chaque fois qu'il est soulevé, il avance un peu. C'est ainsi qu'il faut comprendre comment le sable est entraîné par les plus petits courants, et non point par un effet direct de la vitesse de l'eau comme dans les rivières.

par le vent.

Quant aux grands vents, ils ont une action directe sur le sable exposé à l'air; s'ils sont parallèles au rivage, ils enlèvent et entraînent dans leur direction le sable de la partie de l'estran comprise entre les laisses des hautes mers de morte eau et de vive eau, laquelle reste à sec pendant cinq à six jours de suite à chaque syzygie; si ce mouvement est favorisé par les chaleurs de l'été, la marche et l'amoncellement du sable produisent des masses considérables, de là formation de dunes.

Les dunes sont aussi formées immédiatement par le sable venant de la mer au vent du point où ces dunes s'élèvent. Ainsi, sur la côte du golfe de Gascogne, le sable élevé sur le rivage par les vagues de l'ouest s'y dessèche, et continuant sa marche perpendiculaire à la côte, entraîné par les vents d'ouest, il donne naissance à ces masses énormes de dunes qui règnent depuis la pointe de Grave jusqu'à l'Adour.

Il n'est pas nécessaire que le sable soit desséché pour être enlevé par le vent, quand celui-ci est fort, et quoique humide, il court le long de la côte. J'ai vu le sable, emporté par un très-grand vent, accompagné de pluie, franchir le chenal du port de Calais sur une longueur de plus de 100 mètres; à plus forte raison peut-il cheminer le long de la côte sur l'estran.

Il me semble d'ailleurs que le sable doit marcher parallèlement à une côte, frappée obliquement par le vent régnant, de la même manière que le galet. En examinant attentivement le mouvement des vagues sur l'estran, surtout quand il a un talus roide, et quand le vent est oblique à la côte, on voit qu'au moment où la vague se retire, elle entraîne dans une direction rapprochée de la ligne de plus grande pente, c'est-à-dire normale à la côte, le sable et les coquillages qu'elle venait d'élever sur la plage; le sable marche donc un peu en zig-zag comme le galet.

Quoi qu'il en soit de cette explication, il est de fait que lorsqu'une côte sablonneuse est battue par un vent biais, les sables marchent dans le sens de la composante du vent parallèle à la côte.

Voici plusieurs exemples de la marche des sables où les causes que je viens de signaler agissent ensemble ou séparément.

Sur la côte du golfe de Gascogne.

Sur toute la côte du golfe de Gascogne, depuis la pointe de Grave jusqu'à Bayonne, les sables marchent du nord au sud parce que les vents dominants sont nord-ouest, c'est-à-dire dans une direction très-inclinée à la côte qui court presque nord et sud. Il faut de plus ajouter qu'un courant littoral portant du nord au sud, règne, dit-on, continuellement sur cette côte jusqu'à deux ou trois encablures du rivage. Cette marche des sables fait dévier au sud les embouchures de tous les cours d'eau qui traversent les dunes, tels que ceux de Mimizan, de Contis, de Huchette, du vieux Boucaut, du cap Breton.

Au golfe de la Napoule.

Dans le golfe de la Napoule (*fig.* 94), où est situé le port de Cannes, voici ce qui avait lieu avant la construction récente du môle *m n*. Par les vents de l'ouest au sud-ouest, les sables de la côte à l'ouest de Cannes s'avançaient vers le port et y pénétraient; cette marche avait lieu contre le courant littoral de la Méditerranée allant de l'est à l'ouest. Lorsque les vents soufflaient entre le sud-ouest et le sud, c'est-à-dire quand ils frappaient perpendiculairement la côte à l'est de Cannes, les sables étaient soulevés, mais il y avait désensablement du port, vraisemblablement parce qu'alors les sables étaient emportés par le courant littoral.

Aujourd'hui, depuis la construction du nouveau môle, les sables de la côte à l'ouest de Cannes marchent toujours vers le port, mais s'arrêtent et s'accumulent en dehors du môle dans l'angle *m*.

A l'île d'Oleron.

Sur la côte orientale de l'île d'Oleron, près du port de Saint-Georges le Douhet (*fig.* 32), les sables marchent du nord au sud poussés à la fois par le courant de flot, par les vagues et par les vents venant du nord. L'ancien chenal *b c* (*fig.* 31 et 32) a été obstrué par les dunes *d g*; on a remplacé l'ancienne jetée *m n* par un nouveau môle *i k*; les travaux ont été singulièrement gênés par des masses de sable voyageurs qui encombraient le port et couvraient les matériaux approvisionnés; quand le môle a été achevé, les sables *t t* accumulés contre la face extérieure du môle *i k* ont été soulevés par les vagues des grosses mers, et sont passés avec elles dans le port où ils ont formé en moins de deux ans un dépôt *r r* de 12,000 mètres cubes.

Sur la côte du Poitou,

Sur la côte du Poitou (*fig.* 103) des dunes *m* se forment au sud du chenal de Saint-Gilles et s'avancent dans le nord. Le sable qui les entretient vient de la côte sud, il est entraîné par le contre-courant de flot qui marche du sud au nord.

De grands amas de sable *i* se forment aussi devant la ville des Sables-d'Olonne, et contre la face extérieure de la grande jetée du port; ils proviennent de la côte à l'est de ce port, dont les sables sont entraînés par le contre-courant de flot portant du sud-est au nord-ouest.

Au contraire, dans le port de la Gachère sur la même côte, entre ceux de Saint-Gilles et des Sables, des dunes *p* s'élèvent au nord du chenal. Les sables qui les entretiennent viennent de la côte au nord de la Gachère, ils sont apportés par le courant de flot portant du nord au sud, lequel ne rencontrant point à la Gachère, comme à Saint-Gilles et aux Sables, des pointes qui donnent lieu à un remous, conserve sa direction normale.

La marche des sables dans cette direction est d'ailleurs augmentée par le vent dominant du nord-ouest qui les pousse du nord au sud; tandis que la côte au sud des ports de Saint-Gilles et des Sables est abritée de ces vents par les pointes de Grosse-Terre et de l'Aiguille.

du Calvados.

Sur la côte du Calvados, depuis l'Orne jusqu'à la Touques (*fig.* 97), les sables marchent de l'ouest à l'est; ils sont poussés dans cette direction par le courant de flot et par le vent régnant, qui viennent de la partie de l'ouest : c'est cette dernière cause

qui prédomine. Les vents de l'ouest, étant presque parallèles à la côte, font avancer le sable en zig-zag, par le jeu des vagues ; de plus, ils enlèvent et poussent celui de l'estran de l'ouest à l'est, comme l'indique la partie d'amont des embouchures de l'Orne et de la Dive tournée vers l'est. Les sables forment des dunes sur la côte, et ces dunes s'avancent insensiblement sur les embouchures qu'elles repoussent dans l'est. On voit par les *fig.* 96 et 99, que la pointe du Siége s'est avancée vers l'Orne de 540 mètres en un siècle, et que celle de Cabourg s'est avancée sur la Dive de 850 mètres en 59 années.

Côtes formées par la vase.

Sur la partie méridionale des côtes de Saintonge, toutes les embouchures de rivières, les criques, les anses et même les baies se remplissent d'une vase extrêmement fine. Aujourd'hui les dépôts vaseux s'avancent sur la mer d'environ 5 mètres par an dans la baie d'Aiguillon ; mais dans les temps anciens, les progrès ont dû être plus rapides, puisque les bords de la mer s'étendaient jusqu'à Niort dans le sixième siècle, ce qui donne 40 mètres d'atterrissement par année.

Les vases ne se font pas voir seulement dans les anses tranquilles ; elles se déposent sur des parties du fond où il y a agitation. Ainsi elles menacent de remplir les profondeurs des abords au sud du Havre. On peut voir par la figure 61, qui est un profil passant par l'église principale du Havre dans la direction à peu près nord et sud, que, depuis 1788 jusqu'en 1841, il s'est déposé une grande quantité de vase entre le port et le banc d'Amfard. De nouveaux bancs se sont montrés en 1844 dans le prolongement ouest du banc des Neiges. Enfin, la tendance à l'envasement est si grande autour du Havre, que dans la petite rade les objets retirés du fond en temps ordinaire sont couverts d'une légère couche de vase, et ce n'est qu'après les coups de vent qu'ils sont retirés parfaitement propres. Au dire des pilotes, le dépôt, après un mois de calme relatif, serait de deux à trois centimètres sur un fond de galets.

Funeste influence des alluvions sur les ports.

La marche des alluvions, sables ou galets, a la plus funeste influence sur l'accession des ports.

Alluvions vaseuses.

Les vases transportées par la Seine pénètrent dans le port d'Honfleur, engorgent le chenal et obstruent la passe ; les vases des côtes de la Zélande remplissent Flessingue et Hellevoetsluys. Celles de la Tamise sont fatales à Ramsgate et à d'autres ports des comtés d'Essex et de Kent. Les vases de la Seudre, de la Charente et des Deux-Sèvres engorgent les ports environnants.

sablonneuses.

Les sables marchant parallèlement à la côte embarrassent toujours plus ou moins l'entrée des ports entre la Somme et l'Escaut.

A Boulogne, ils ont élevé l'estran dans le nord des jetées à la hauteur de l'encoffrement de celles de l'est, et le remous causé par ces ouvrages portant au sud, c'est-à-dire en sens contraire du courant de flot, ramène les sables dans le chenal.

A Calais, l'estran a été relevé contre le prolongement des jetées de $2^m,60$ en deux ans, et le sable commence à déverser dans le chenal ; on se propose d'exhausser la partie pleine de ces prolongements ; l'estran ne s'élèvera-t-il pas au même niveau ?

A Gravelines, le sable marchant vers le nord passe par dessus la jetée sud-ouest et encombre le chenal.

A Dunkerque, l'estran au sud de ce port a plus de 1,200 mètres de largeur; outre la pente transversale vers la mer, il a sur dix kilomètres une pente en longueur vers Dunkerque. Dans le sens de cette dernière, il est sillonné par des ravins où coule la mer quand elle se retire, entraînant les sables qu'elle abandonne à la tête de la jetée de l'ouest. Ces dépôts ont suivi l'extrémité des jetées au fur et à mesure qu'on les a prolongées. Ne forceront-ils pas à les avancer jusqu'au commencement des bas-fonds de la rade?

A Ostende, les sables cheminent généralement vers l'est; mais les vents du nord-est les dessèchent, les enlèvent et les ramènent dans l'ouest. Déjà il a fallu préserver le chenal contre ce retour par une digue pleine; un ouvrage semblable sera bientôt nécessaire de l'autre côté.

Dans la Méditerranée, la marche du sable entraîné par le courant littoral amène souvent les atterrissements des ports, quand on veut les préserver de l'agitation.

C'est de l'érection du môle Saint-Louis à Cette, en 1666, que date l'ensablement de ce port. Les sables qui y arrivaient auparavant n'y restaient pas, à cause de l'agitation qui y régnait et du ressac produit par les parties basses de la montagne de Cette. En couvrant le port des vents de tempêtes du sud-est on a obtenu le calme, mais on a perdu la profondeur. Le mal a été aggravé par la jetée de Frontignan, et plus tard par le brise-lame isolé.

Vauban, en critiquant les deux premiers ouvrages, rappelle, comme une leçon qui aurait dû éclairer, l'exemple voisin de la jetée du cap d'Agde qui, abritant également du vent du sud-est une anse où les navires trouvaient une grande profondeur, y produisit le calme, et en même temps un ensablement, lequel en dix-sept années avait fait avancer la côte de 700 mètres dans la mer.

Les jetées construites à Agde pour contenir les crues de l'Hérault, et approfondir le chenal, ont par leur saillie arrêté les sables, et la plage s'est avancée en mer de 600 mètres en cent trente ans (*fig.* 95).

On a pensé que les Romains, connaissant les deux effets dont nous parlons, y avaient remédié en construisant des môles avec ouvertures, qui n'arrêtaient pas totalement l'agitation ni le courant. Plusieurs ingénieurs approuvent cette disposition; Vauban paraît être de ce nombre, mais il fonde son opinion principalement sur l'effet et la force du courant (1).

Les môles à claire-voie laissent effectivement agir une partie du courant littoral; mais, comme nous l'avons vu, ce faible courant ne peut entraîner le sable que quand il est en suspension, et il n'est en suspension que quand la mer est agitée; l'agitation

(1) Voyez, à la fin, l'extrait d'une lettre de Vauban sur le port de Cette.

est donc nécessaire pour conserver la profondeur. Plus les môles à jour produiront de calme, et plus les sables voyageurs s'arrêteront derrière eux.

Voici un exemple récent de la difficulté de concilier les deux effets. A Saint-Georges-de-Didone, à l'embouchure de la Garonne (*fig.* 101), on a remplacé l'ancienne jetée *ab* par un nouveau môle *x m* qui agrandit ce petit port d'échouage. Autrefois le courant de jusant de la Garonne y pénétrait à l'est, le contournait et sortait à l'ouest. Les sables qu'il entrainait, arrêtés par l'ancienne jetée, s'étaient accumulés autour d'elle dans le fond du port. Le même effet se reproduisant contre le nouveau môle, on y a fait une coupure *x* qui rend au courant son issue ordinaire. A peine a-t-on eu démoli l'ancienne jetée, que les sables amoncelés derrière elle, entraînés par le courant, sont sortis avec lui et ont disparu. Mais la coupure, qui n'a pas huit mètres de largeur, laisse pénétrer les lames que soulèvent les vents d'ouest, d'où résulte alors un fort ressac dans l'intérieur du port. A la demande des pilotes, on a fermé momentanément l'ouverture *x*, et déjà les sables ont recommencé à couvrir les platins avoisinant l'ancienne jetée; il sera donc difficile de conserver à la fois la profondeur et le calme.

Les vases et les sables très-fins ont d'ailleurs une autre conséquence dans tous les parages de l'Océan où les côtes sont plates et marécageuses; elle a été bien décrite par Smeaton dans les mémoires sur les ports de Rye et de Sandwich. Il fait remarquer que ces matières, apportées par la mer, sont déposées aux extrémités des criques, au fond des petites baies, autour des îlots, qu'elles s'y amassent peu à peu; que diminuant la capacité des réservoirs où pénètrent les marées, elles en affaiblissent les effets au jusant. Qu'ainsi ces criques, ces petites baies, où il n'y a pas un cours d'eau suffisant, tendent toujours à l'atterrissement. **Engorgements des ports sur les côtes plates,**

A cette cause d'obstruction lente, mais progressive, il s'en joint une autre plus active. Les cultivateurs, tentés par la fertilité des dépôts, font des clôtures contre la mer, et hâtent ainsi les engorgements naturels. C'est surtout aux dessèchements qu'on doit attribuer la perte de profondeur des ports d'Ostende, de Dunkerque et de Calais. Autrefois de grandes étendues de terrains inondés par les marées procuraient à mer basse des chasses puissantes et prolongées qui nettoyaient ces ports. L'endiguement successif des marais a diminué ces effets auxquels on a cherché à suppléer par de nouvelles retenues. **hâté par les endiguements.**

Cette vérité sera mise dans tout son jour, si nous jetons un coup d'œil rapide sur les péripéties par lesquelles a passé le port d'Ostende. **Historique du port d'Ostende.**

Les terrains bas des environs d'Ostende ont été endigués dès le douzième siècle.

La wateringue actuelle de Wauterman (*fig.* 110), qui entoure la ville, existait au treizième siècle; les criques qui y aboutissaient avaient été transformées en canaux fermés à leur embouchure par des écluses (1).

Philippe le Bon, par octroi de 1445, autorisa les Ostendais à se creuser un havre **Il est ouvert à bras d'homme.**

---

(1) *Notice historique sur la ville d'Ostende*, par M. Belpaire. Bruxelles, 1830.

depuis la mer, au travers de la digue, jusque dans la ville, pour que les barques pussent y entrer à volonté. Ainsi la communication d'Ostende avec la mer a été ouverte à bras d'homme ; avant ce temps la ville en était séparée par une digue qui protégeait toute la côte contre les fortes marées.

Le havre fut creusé à l'ouest d'Ostende jusqu'à une seconde digue faite en arrière de la première et sous la protection de laquelle on avait bâti une nouvelle ville en 1397, car la mer ruinant souvent la première digue ravageait l'ancienne ville et la repoussait dans le sud. Le havre longeait ensuite la digue de l'ouest à l'est, et séparait ainsi la ville en deux quartiers.

Ce premier port d'Ostende tendant à s'envaser, on construisit en 1517, à l'extrémité du chenal, une écluse de chasse pour le curer en retenant les eaux à marée haute et en les lâchant à marée basse (1).

L'ancien port à l'ouest de la ville.

Un plan de la ville (*fig.* 112) dressé en 1571 avant qu'elle fût fortifiée (2), place encore le port et l'embouchure du chenal au sud-ouest de la ville ; il indique aussi trois écluses D D D, lesquelles (dit la légende) empêchant la mer d'inonder le plat pays environnant et laissant écouler leurs eaux pendant la marée descendante, servaient à nettoyer le port.

Le nouveau, ouvert à l'est vers 1600.

C'est vers cette époque qu'on ouvrit le chenal actuel dans le nord-est de la ville en profitant d'une partie basse où la mer avait fait irruption (3) à travers les dunes, lesquelles avaient été rasées pour qu'elles ne dominassent pas la ville qu'on venait de fortifier.

La mer qui pénétrait par cette rupture se répandait journellement à plus de 1,000 mètres d'Ostende, et s'étendait dans les fortes marées jusqu'à Leffingue, Snaeskerke et Oudenbourg (*fig.* 110). Mais pour garantir une partie du plat pays, on avait fait deux grandes digues partant des dunes, l'une dans l'ouest A A A commençant au fort Albert, passant par Steene, allant vers Snaeskerke et Oudenbourg, l'autre dans l'est, commençant vers Breedene, passant à Plasshendale et se joignant à la première près d'Oudenbourg (4).

Courants qui l'entretenaient.

Le vaste espace compris entre ces digues et abandonné à la mer, environ trois mille hectares, devait fournir des courants puissants pour conserver et creuser le port. Le champ des marées fut d'ailleurs augmenté pendant le fameux siége d'Ostende par les coupures qu'on fit à ces digues, et alors, dans les vives eaux, la mer s'étendait jusqu'à plus d'une lieue dans le sud-ouest de la ville.

Endiguements qui diminuent les courants.

Après le siége on répara les digues ; celle de l'ouest le fut en 1608, et celle de l'est en 1612. Vers la même époque on commença à endiguer le poldre appelé vieux Zandwoorde.

---

(1) Notice Belpaire, page 23.
(2) Archives du dépôt de la guerre.
(3) Notice Belpaire, page 24.
(4) *Idem*, pages 25 et 27.

En 1626 on fit une nouvelle digue C C C depuis le fort Philippe jusqu'au poldre Camerlinx (1), laquelle retranchait à la mer les poldres du vieux et nouveau Zandwoorde (environ 1200 hectares), et il ne restait pour recevoir la marée haute que le poldre de Sainte-Catherine ou Waterman E, la creke Gauweloze D, et le terrain compris entre le canal de Plasshendale et la digue de Breedene.

Alors commencèrent les ensablements du port et les plaintes des hommes de mer, qui les attribuèrent toujours aux retranchements faits aux inondations (2); à cette cause ils auraient dû en ajouter une autre, c'était le dépôt des vases apportées à chaque marée, qui élevaient progressivement les terrains où la mer pénétrait, tellement qu'en 1650 ils n'étaient totalement inondés que cinq à six fois par mois, et seulement de $0^m,60$ à $0^m,90$ (3), et qu'en 1725 ceux qui environnaient Ostende étaient au moins $1^m,70$ plus haut qu'en 1572 (4). Ensablement du port.

Le port avait effectivement beaucoup perdu de sa profondeur. Le général d'artillerie Boulangier fut chargé de le sonder. Le 25 mars 1662 il ne trouva, à basse mer, qu'un mètre de hauteur d'eau dans le chenal, trois mètres au-delà de la tête des jetées, et seulement $0^m,60$ dans la passe, sur le banc qui se forme toujours à l'embouchure. La passe était alors tournée à l'ouest-sud-ouest (*fig.* 104) (5).

On se décida dans cette année à faire une coupure *a a* (*fig.* 110) à la digue C qui couvrait le poldre Zandwoorde (6). La mer eut accès dans le nouveau Zandwoorde I, séparé de l'ancien par la digue L; elle entrait aussi dans les portions H G E, et peut-être entre le canal de Plasshendale et la digue de Breedene, elle couvrait donc plus de deux mille hectares (7). On détruit les endiguements.

Après cette coupure, il fut reconnu que le port se creusait. En 1682, on disait que tout l'approfondissement était opéré, et les propriétaires des terrains nouvellement repris par la mer demandaient la fermeture de la coupure *a*. Mais le général d'artillerie, ayant fait de nouvelles sondes, pensa que l'approfondissement n'avait pas atteint sa limite, et cette fermeture fut ajournée (8). L'ensablement disparait.

En 1697, on renouvela la demande de la fermeture du Zandwoorde, et elle était fortement appuyée par le bourgmestre d'Ostende; il représentait que les courants étaient si violents dans le chenal, et la corrosion si profonde, qu'on avait de justes craintes pour la ville et les jetées (9).

---

(1) Rapport de De Bauffe. Archives du dépôt de la guerre, et Notice Belpaire, page 28.
(2) Archives du dépôt de la guerre. Enquête du 16 mars 1725.
(3) Notice Belpaire, page 29.
(4) Rapport de De Bauffe.
(5) Rapport de De Bauffe sur l'enquête, et Notice Belpaire, page 29.
(6) Rapport de De Bauffe, Mémoire de M. De Ramsault, directeur des fortifications de Lille, du 30 août 1753, et Notice Belpaire, page 29.
(7) Mémoire de De Ramsault.
(8) Rapport de De Bauffe.
(9) Rapport de De Bauffe, et Notice Belpaire, page 30.

Grande profondeur du port.

Un nouveau sondage du général d'artillerie, du 25 septembre 1698 (1) (*fig.* 105) démontre qu'en effet il y avait à la mer basse de ce jour de treize à dix-sept mètres d'eau dans le chenal, 20^m,00 au delà des jetées, et 2^m,10 dans la passe qui s'était encore reportée plus au sud (2).

Nouveaux endiguements.

En conséquence, on autorisa la fermeture du Zandwoorde ; elle eut lieu en 1700 (3).

L'année suivante l'état du port d'Ostende était encore excellent, ainsi que le constate une note du 15 novembre 1701, des principaux capitaines de vaisseaux et pilotes d'Ostende, il y est dit :

« La profondeur du chenal pour entrer dans le port est, à mer basse de vive

» eau.	6 pieds.	(1^m,8)
» montée.	17	(5^m,0)
» Total.	23	(6^m,8)
» A basse mer de morte eau.	8	(2^m,4)
» montée.	12	(3^m,6)
» Total.	20	(6^m,0)

» Le pied de Flandre est moindre d'un pouce que le pied de France (4). »

Les capitaines ajoutaient que le chenal avait une longueur totale de 1100 toises depuis la tête des jetées jusqu'aux écluses de Slykens (5) ; qu'il présentait des parties d'une longueur ensemble de 900 toises, qui avaient à mer basse de 18 à 28 pieds d'eau (5^m,3 à 8^m,3), et où cinquante gros vaisseaux seraient toujours à flot, *fussent-ils de* 60 *à* 80 *canons*.

L'ensablement recommence.

Mais déjà en 1716 on se plaignait d'un nouvel ensablement du port. Des sondes prises en novembre 1721 par un arpenteur et un capitaine de navire indiquent que le fond du chenal s'était généralement relevé de 9 mètres (6), quoique la profondeur sur la passe fût à peu près la même (*fig.* 106).

De nouvelles sondes prises en mars 1725 (*fig.* 106) indiquent que le chenal était un peu plus profond, mais que la passe, qui s'était reportée au nord-ouest, s'était relevée de 0^m,60. En 1727 ce dernier relèvement était encore plus fort (*fig.* 107).

On détruit encore les endiguements.

Ces ensablements, qui avaient presque fermé l'embouchure en 1720, avaient déterminé dans cette année l'ouverture du poldre de Steene (7). Ce moyen ayant eu peu d'effet, on fit en juillet 1721 trois coupures *b b b* dans la digue du poldre

(1) Il y avait pleine lune le 20 septembre. Connaissance des temps de cette année.
(2) Rapport de De Bauffe, et Notice Belpaire, page 50.
(3) *Idem.*
(4) Archives du dépôt de la guerre.
(5) Ces écluses étaient alors à 550 mètres en aval de leur emplacement actuel.
(6) Rapport de De Bauffe.
(7) Rapport de De Bauffe. Mémoire de De Ramsault et Notice Belpaire.

Camerlinx (*fig.* 110). Ce terrain avait été choisi comme le plus bas, et donnant lieu à moins de dépense. Il en résulta de grands approfondissements dans le chenal (1). Le port se creuse.

La mer entrait alors dans les poldres G H O et E (2) (*fig.* 110); mais ce dernier, qui la recevait depuis près de cent quarante ans, s'était tellement exhaussé, qu'il n'avait presque plus d'utilité, et c'est ce qui engagea à le fermer complétement par des digues *RRR* achevées en 1744. Les poldres s'envasent.

Depuis cette époque jusqu'au commencement de notre siècle, le volume des arrière-eaux diminuant de plus en plus par l'envasement progressif des terrains inondés, l'ensablement du chenal et de la passe augmentèrent; il n'y avait plus en 1810 qu'un à deux mètres d'eau dans le chenal, et $0^m,15$ dans la passe (*fig.* 108). On abandonna le moyen des inondations, et on eut recours à celui qui avait été pratiqué au commencement du XVIe siècle, c'est-à-dire à une écluse de chasse. Cette circonstance permit de rendre à l'agriculture ce qui restait encore de terres inondées. L'ensablement recommence. On a recours à une écluse de chasse.

En 1811, après 52 chasses de la nouvelle écluse, on n'avait encore obtenu que de $1^m,20$ à $2^m,50$ de profondeur dans le chenal et $0^m,50$ sur la passe, ainsi que le font voir les profils de la *fig.* 161 qui représentent la situation du chenal et de la passe, l'un en décembre 1810, avant les chasses, et l'autre en mai 1811, après que l'écluse eut joué 52 fois.

Quoique les profondeurs eussent un peu augmenté depuis, elles étaient toujours insuffisantes et, sous le gouvernement hollandais, on construisit une seconde écluse de chasse d'un débouché double de la première; les retenues de ces écluses n'ont ensemble que soixante-dix-huit hectares, superficie bien faible, si on la compare à celle de plus de deux mille hectares qui, en 1698, avait procuré des profondeurs de 16 mètres dans le chenal et de $2^m,10$ dans la passe. On en fait une seconde.

A l'aide de ces écluses on obtient aujourd'hui, sur le banc de la passe, une hauteur d'eau de $1^m,70$ à basse mer de vive eau (*fig.* 109). Mais cette profondeur diminue en hiver, saison où les chasses sont inefficaces, à cause de la hauteur de la mer basse retenue par les vents du nord-ouest. Résultat actuel.

Il paraît, par ce qui précède, que la puissance des chasses que l'art a adoptées dans ces temps modernes, tout énergique qu'elle soit, n'égale pas celle des courants alternatifs des marées pénétrant dans les vastes espaces qui jadis pouvaient être inondés. Moindre que celui des courants alternatifs des marées.

La conséquence que l'ingénieur peut tirer de ce fait hydraulique, c'est qu'on ne doit priver un port de l'Océan du courant des marées qui y passent qu'avec la plus grande circonspection; qu'il faut bien se garder d'en fermer les issues, attendu que ce moyen naturel d'y entretenir la profondeur est un des plus efficaces; que si ce Importance de ces courants dans les ports.

---

(1) Rapport de De Bauffe.
(2) Mémoire de De Ramsault.

moyen s'affaiblit et s'annule avec le temps, par suite des dépôts de la mer, on doit en profiter aussi longtemps que possible, et qu'il n'est pas prudent de le supprimer pour y substituer des chasses artificielles, qui seront peut-être moins actives, et dont les bassins de retenue n'échappent point à l'ensablement.

Quant à revenir à ces anciens moyens, dans les ports qui en jouissaient autrefois, en abaissant aujourd'hui les terrains jadis inondés et en les livrant de nouveau au jeu des marées, ce retour au premier ordre de choses ne parait pas proposable, attendu la grande valeur des terrains conquis sur la mer.

Ainsi, dans l'enquête de 1725 sur l'état du port d'Ostende, le seul poldre du nouveau Zandwoorde, d'environ 800 hectares de contenance, était estimé 11,000,000 fr., et les terrains, dont l'inondation procurait au port la grande profondeur dont il jouissait lors de sa splendeur, vaudraient près de 28 millions; il faudrait donc d'abord débourser cette somme, puis entretenir l'endiguement, et enlever annuellement les dépôts de la mer.

Des galets.

Le galet produit des effets non moins désastreux que le sable, à l'entrée des ports de la Manche.

En Angleterre le port de Rye était jadis florissant; il contenait de grands vaisseaux à flot. Une quantité immense de galets l'a encombré, il n'existe plus. Dès 1698 il était déjà regardé comme perdu. L'entrée s'est avancée de 400 mètres sur la mer.

Le port de Douvres (*fig.* 204 et 207) est resté plusieurs fois fermé par le galet pendant des mois. Il suffit de quelques jours de grands vents de sud-ouest pour qu'il s'y forme une barre de quatre à cinq mètres au-dessus de basse mer, ainsi que cela est arrivé en décembre 1824, après cinq jours d'un vent forcé de sud-ouest.

Folkstone, Newhaven, Lhoreham, Litlhampton, sont également barrés par le galet.

En France, Fécamp, Saint-Valery, Dieppe et le Tréport ont beaucoup à souffrir du passage du galet, qui les obstrue quelquefois complétement.

L'art lutte continuellement contre les alluvions.

L'histoire des ports de l'Océan, menacés par les alluvions, nous montre que chaque moyen employé pour les en garantir commence par avoir quelque succès, mais qu'il devient ensuite insuffisant. Les alluvions arrivant sans cesse et étant repoussées en dehors de l'action des chasses et au delà des jetées, où il en reste toujours une partie, il faut, au bout d'un certain temps, avoir recours aux mêmes moyens, mais reportés plus au large. Ainsi l'art lutte continuellement contre la nature et doit toujours étendre et augmenter sa puissance pour ne pas succomber.

CHAPITRE IX.

DES MÔLES OU BRISE-LAMES.

Les môles ou brise-lames sont des digues à blocs perdus, soit en pierre ordinaire, soit en béton, ou des digues en béton coulé dans encoffrement. En général, sur cette fondation on construit des massifs de maçonnerie couronnés par une plate-forme plus ou moins élevée au-dessus du niveau de la mer. Des môles ou brise-lames.

Aux extrémités des môles sont souvent des fanaux, des tours de signaux, des batteries. Dans ce cas, et aussi pour protéger les marins qui aident l'entrée et la sortie des bâtiments, les plates-formes des môles sont surmontées, du côté du large, d'un parapet qui garantit des fortes vagues. Les *fig.* 25, 26, 42, 53, et 203 *bis*, sont des profils de môles.

La position et la direction des môles dépendent, comme on a pu le voir, de la direction des lames, des vents régnants, des courants, de la marche des alluvions, de la profondeur de la mer, de l'étendue qu'on veut donner au port, des bâtiments qu'on veut y recevoir, des considérations d'entrée et de sortie. Ce qui règle leur position, leur direction.

Ainsi les principales dispositions de ces ouvrages extérieurs, comme de la plupart de ceux des ports, ne peuvent être arrêtées que de concert avec les marins, et même avec les officiers de terre et de mer, eu égard à la défense des côtes.

Il faut d'abord avoir les sondes exactes en avant de la côte.

Pour prendre les sondes dans une rade ou dans une baie, on peut tracer sur la côte plusieurs alignements au moyen de grands jalons visibles en mer; puis on suit en canot ces alignements; à chaque même nombre de coups d'avirons, bien égaux, donnant la distance voulue des sondes, on s'arrête, on jette le plomb suspendu par une ligne de sonde, mais mieux par une petite chaîne de fer; en même temps on élève un pavillon pour signal, et de deux points de la côte des observateurs donnent un coup de graphomètre; il faut que les lignes de mire ne fassent pas des angles trop aigus avec l'alignement des sondes; en même temps on prend la hauteur de la Des sondes.

mer à une échelle de marée de laquelle on puisse voir le signal, ou à laquelle on puisse le transmettre, ou bien enfin au moyen de deux bonnes montres bien réglées. On numérote soigneusement les opérations, pour avoir la certitude qu'elles se rapportent toutes aux mêmes coups de sonde. Il faut beaucoup d'habitude pour apprécier la profondeur d'eau avec la ligne de la sonde marine, à cause des ondulations de la mer.

Les môles prennent le nom de jetées dans des circonstances particulières. Nous traiterons des jetées plus loin. Ici nous parlerons des môles ou brise-lames proprement dit.

Fondations des môles à pierres perdues.

Lorsque les môles sont construits à pierres perdues, une des données les plus utiles est le profil qu'affecte la partie plongée sous l'eau. La connaissance de ces talus est indispensable pour déterminer l'empatement de la digue, et donner un aperçu du cube et de la dépense de l'ouvrage.

L'expérience a appris que ces talus variaient : 1° avec la profondeur de la mer ; 2° avec la grosseur des matériaux compris dans la zone d'action des vagues ; 3° avec la force des lames.

Profil des enrochements.

En général un enrochement plongé dans une mer un peu profonde présente pour profil pris dans la direction des vents dominant :

1° Du côté du large, et dans la partie basse hors de l'atteinte des vagues, un talus assez raide de 1 et demi à 2.

2° Dans la zone d'action de la mer un talus de 6 à 11.

3° Enfin à l'intérieur un talus qui, protégé par les précédents, se soutient de 1 à 2.

Tel est à peu près le type des enrochements de Cette, de Cherbourg, de Plymouth, etc. (*fig.* 47, 65, 66).

Les talus inférieurs sont les seuls qui ont quelque fixité, et dont on puisse donner les chiffres.

Voici leurs dimensions pour les trois brise-lames dénommés ci-après :

BRISE-LAME DE	TALUS INFÉRIEUR DU LARGE.			NAISSANCE de ce talus sous la basse mer.
	Base.	Hauteur.	Rapport.	
Cette	9m,08	5m,00	1,6	3m,60
Plymouth	10 ,80	7 ,10	1,5	4 ,00
Cherbourg	8 ,00	4 ,60	1,7	7 ,50
	TALUS INFÉRIEUR OPPOSÉ AU LARGE.			
Cette	10m,00	4m,90	2,0	
Plymouth	12 ,00	11 ,00	1,1	
Cherbourg	13 ,00	10 ,80	1,2	

Quant au talus soumis à l'action des vagues, il est, comme je l'ai déjà dit, de 6 à 11.

Il est probable que dans une mer peu profonde la réaction violente du fond détruirait toute régularité et empêcherait toute stabilité. C'est ce qui a été remarqué à l'enrochement exécuté sur le banc de Boyard en rade de l'île d'Aix, à 4^m,20 au-dessous des basses mers ordinaires, les talus ont éprouvé des bouleversements continuels et surtout les parties les plus basses.

Les inclinaisons ci-dessus font voir qu'on peut employer des moellons ordinaires pour les parties basses, tandis qu'il est nécessaire de jeter de gros blocs sur les talus supérieurs; des blocs d'un mètre cube sont facilement remués et roulés par les fortes lames; ils peuvent même être enlevés et emportés par-dessus une digue qui dépasse les hautes mers. Grosseur des pierres.

On doit donc entendre que le talus compris dans la tranche d'action de la mer n'a qu'une fixité momentanée, ou, pour parler plus exactement, s'adoucit de plus en plus ; car quoique formé dans le principe de gros moellons et même de gros blocs, ceux-ci, déplacés de temps en temps et roulés les uns sur les autres dans les coups de vent, se brisent, s'arrondissent et diminuent de volume. Or, l'inclinaison du talus dépendant de la grosseur des matériaux, on voit que le talus s'aplatit insensiblement.

Toutefois l'expérience a appris que des blocs de dix à quinze mètres cubes ont une stabilité complète, ou qui pouvait être regardée comme telle. Volume qui assure la stabilité,

Ainsi une assise de béton de 1^m,60 d'épaisseur ayant été coulée en 1788 sur les enrochements primitifs d'un des cônes de Cherbourg, elle se sépara en plusieurs blocs de douze à quinze mètres cubes chacun, par suite des affaissements inégaux du massif qui la supportait. Depuis cette époque, c'est-à-dire depuis plus de cinquante ans, les morceaux, comme nous l'avons déjà dit, ont résisté à tous les coups de vent qui ont eu lieu pendant ce laps de temps, et notamment aux fameuses tempêtes de février 1808 et décembre 1836. à Cherbourg,

Les blocs en béton de dix mètres cubes, employés dans la jetée du port d'Alger, où la mer est furieuse, n'ont éprouvé que de très-faibles déplacements par l'effet des plus violentes tempêtes de l'année qui a suivi leur immersion ; ces mêmes tempêtes n'ont pas remué les blocs qui étaient immergés depuis une année. à Alger.

On avait d'abord cru qu'ils étaient absolument immobiles; mais en 1843 on a reconnu le mouvement des blocs récents. On aurait même constaté dans la tempête de novembre de cette année des déplacements notables dans quelques cas particuliers.

Ainsi un bloc de dix mètres cubes étant sur le quai de la grande jetée, à quatre mètres au-dessus de la mer, et reposant sur sa partie plate (*fig.* 59), aurait été poussé par la vague jusqu'à huit mètres de sa première position, fait que j'ai déjà cité.

Un autre bloc d'environ 40 mètres cubes, coulé et fabriqué sur la roche Algefna, mais reposant en partie, à ce qu'il paraît, sur d'autres blocs de dix mètres cubes, aurait été enlevé et renversé sens dessus-dessous dans la même tempête (*fig.* 60).

Ces déplacements, qui paraissent certains, éclairent l'art sur un point important, et

donnent une mesure de la force des vagues; pour plus de sécurité, on porte aujourd'hui le volume des blocs à quinze mètres cubes.

D'ailleurs, avant les dernières grandes tempêtes, un autre fait avait donné quelques indices de ces mouvements. On avait remarqué que les deux talus de la grande jetée n'avaient pas la même inclinaison. Le talus du côté du large était plus doux que celui de l'intérieur. Les blocs étant lancés et immergés dans les mêmes circonstances sur les deux côtés, il me semblait difficile d'expliquer la différence observée, sans admettre que les blocs soumis à l'action de la mer du large n'avaient pas la même fixité que ceux de l'intérieur du port.

Il n'est pas présumable que des blocs de forme parallélipipédiques, coulés par une mer calme et roulant sur ceux qui les ont précédés, se placent, de premier jet, dans une position invariable. Quelques-uns portent sur ceux du dessous seulement par trois angles ou par un angle et une arête; les angles et les arêtes s'écrasent; d'autres blocs sont dans le cas d'un équilibre instable dont les premières attaques de la mer doivent les faire sortir. On conçoit que le mouvement des blocs n'est pas terminé immédiatement après le coulage, et qu'ils attendent en quelque sorte un arrimage que la mer leur donne plus tard, mais qui n'est complet qu'après les premiers gros temps.

On est donc autorisé aujourd'hui à croire qu'un môle à blocs perdus de quinze mètres cubes en volume acquiert en peu de temps une stabilité presque complète, et que les talus se règleront à environ 45° depuis le sommet jusqu'au fond de la mer.

Travaux des enrochements.

L'opération préliminaire aux travaux d'un enrochement est le tracé de son emplacement. A cet effet on place des bouées ou des balises qui indiquent le périmètre de la base au-dessus de laquelle doivent arriver et s'amarrer les embarcations qui versent les matériaux.

La construction des parties basses d'un enrochement consiste à jeter dans la mer des pierres de diverses grosseurs sur tout l'espace compris dans les alignements des bouées. On élève le massif par tranches successives, afin d'éviter les rassacs que produiraient de trop fortes inégalités. Il est bon de jeter les plus grosses pierres au pourtour, surtout du côté du vent dominant.

Des sondes multipliées indiquent les points où le versement doit être interrompu ou continué.

Carrières.

Il faut dès le principe reconnaître les points de la côte ou des îles voisines qui peuvent fournir les matériaux ; choisir ceux qui sont les plus rapprochés et où l'embarquement est facile. Souvent la côte n'est pas favorable à cette opération, et les premiers ouvrages à construire sont les appontements, quais ou digues de chargement qui doivent être le plus rapprochés possible des carrières.

Nature des pierres.

On emploie toute sorte de roche pour les pierres perdues ; mais celles qui sont les plus dures, telles que les gneiss, les porphyres, les marbres, etc., sont les meilleures.

Chargement.

Les pierres chargées dans des wagons, roulées sur des chemins de fer, sont versées immédiatement dans les bateaux; si les blocs sont trop volumineux et que leur chute

endommage les navires, on les enlève par des palans ou caïornes, frappés aux mâtures, ou par des grues placées à cet effet sur les quais, et on les descend sans secousse dans la cale.

Les bateaux chargés de pierres sont du port de 30 à 60 tonneaux. Ils exécutent le transport à la voile, ou sont remorqués par des canots ou des bateaux à vapeur; arrivés dans l'emplacement de l'enrochement, ils sont amarrés sur les corps morts au point où doit s'effectuer le versement qui s'exécute à bras et à la brouette pour les moellons, et avec les mêmes apparaux des mâtures pour les gros blocs. On peut immerger ainsi des blocs de deux mètres cubes. Transport.

Il est bon que les bâtiments qui transportent les pierres aient la varangue plate, afin qu'ils puissent permettre la plus grande élévation de l'enrochement sous eux, et qu'ils supportent plus facilement l'échouage. Quant à l'inconvénient de dériver qui en résulte, il est nul puisqu'on a dû se réserver la possibilité de les remorquer; ils doivent être munis d'un cabestan.

Tant que le sommet de l'enrochement est bien au-dessous de la quille des bâtiments de transports, le versement s'effectue sans gène ; mais lorsque ceux-ci sont exposés à toucher, la continuation de l'enrochement marche plus lentement.

Alors on est obligé de faire le déchargement à bras sur un point au-dessus de l'eau, et de reprendre ensuite les matériaux pour les porter ailleurs. Cette reprise est forcée pour hâter le déchargement, car le stationnement des gabarres de transport contre l'enrochement ne serait pas sans danger, si la mer devenait forte. Versement.

Si l'enrochement se fait dans l'Océan, on fait les déchargements à mer haute, et le transport en reprise se fait à mer basse. Les gros blocs sont soulevés et tirés au moyen de bigues et d'écoperches.

Lorsque les enrochements reposent sur le sable, à une profondeur moindre que celle où se propage l'agitation des vagues dans les gros temps, il se forme des affouillements à leurs pieds. Il est donc important de commencer le versement des pierres sur toute la surface de l'enrochement, en l'élevant peu à peu sur toute la superficie à la fois. Si on commençait par élever d'abord au-dessus de la mer un noyau dont on augmenterait successivement l'épaisseur, on s'exposerait à des affouillements plus profonds se formant du côté du large par ressac et à l'intérieur par la chute des lames dépassant l'enrochement. Il en résulterait la nécessité de combler les affouillements au commencement de chaque campagne, et par conséquent un excédent sur le cube d'enrochement présumé. Affouillements autour des enrochements.

C'est ce qui est arrivé à Cette. Pendant la première campagne, on a élevé le brise-lame suivant *abcd* (*fig.* 133) au-dessus du fond sablonneux *mn*. Pendant l'hiver, le ressac a formé du côté du large un affouillement *def*, et les lames passant par-dessus le sommet de l'enrochement ont produit en retombant un autre affouillement intérieur *asq*. Dans la seconde campagne, on a augmenté le brise-lame suivant le profil *zxgh*; il a fallu combler une partie des affouillements précédents; pendant l'hiver suivant, il Exemple à Cette,

s'est formé deux nouveaux affouillements *hoi* et *qzt*, qu'il a fallu combler dans la troisième campagne, et ainsi de suite. On a donc employé plus de pierres que si l'enrochement avait d'abord été formé sur toute la base du brise-lame.

Aujourd'hui encore, bien que les talus supérieurs de l'enrochement aient été adoucis par la mer et qu'il n'y ait plus les forts ressacs que produisaient les talus abrupts du commencement de la construction, il existe de faibles affouillements au-dessous du fond primitif *mmm* (*fig.* 66) que l'on peut considérer comme le régime du sable autour du brise-lame; le profil représenté par la figure est pris près du musoir de l'est en octobre 1833, c'est-à-dire trois ans après la discontinuation des travaux du môle.

à la pointe de Grave, à Boyard.

Lorsque le sable est mobile, et que la profondeur d'eau n'est pas grande, il est difficile d'empêcher les premières pierres de descendre dans ce sable affouillé par les ressacs. Les blocs algériens coulés à la jetée de la pointe de Grave descendaient quelquefois de deux mètres dans le sable vif du fond. Dans la fondation du fort Boyard, un volume de quatre mille mètres cubes s'est enfoncé au-dessous du niveau du banc dans les premières années du versement.

Ce dernier enrochement, qui a été abandonné pendant une trentaine d'années lorsque le sommet dépassait à peine les basses mers de vive eau, a éprouvé pendant ce temps un bouleversement complet. Six profils représentés par la figure 69 indiquent sa situation en 1809, année où les travaux furent suspendus, et son état en 1837.

On remarquera qu'en général l'effet de la mer a été d'abaisser le sommet central, de combler les parties basses périmétriques, de relever le sable du banc de Boyard autour de l'enrochement, de repousser les pierres dans le sud-est en les étendant à l'est et à l'ouest. Les plus grands coups de vents de ces parages viennent du nord-ouest.

Consolidation par coquillages et plantes marines.

A la surface des talus des enrochements, on a quelquefois répandu des coquillages qui s'attachent aux pierres et les consolident. Les plantes marines, qui, dans certaines localités, naissent et croissent avec une étonnante rapidité, augmentent encore la liaison; mais il ne faut pas se dissimuler que ces moyens, qui consolident en temps ordinaires, sont de nul effet dans les tempêtes.

Enrochement en blocs de béton.

Lorsqu'on doit faire un enrochement en blocs artificiels, il faut d'abord choisir un point de la côte propice à la fabrication du béton et des blocs. On donne à ceux-ci environ $3^{m},50$ de longueur, sur 2 mètres de largeur et $1^{m},50$ d'épaisseur.

Pour les former, on place quatre panneaux verticaux unis aux angles par des ferrures semblables à des charnières, et qui se désunissent en enlevant la goupille qui les traverse.

On répand une couche de quatre à cinq centimètres de sable sur le terrain formant le fond du coffre, et on coule le béton dans cette espèce de moule. Quand il a durci convenablement, on désassemble les panneaux.

Un mois ou deux après, selon la saison, quand on juge le béton assez dur pour pouvoir supporter l'immersion sans se rompre, on passe des chaines sous le bloc,

on le soulève de $0^m,50$, et on place dessous un wagon-chariot qui l'amène sur un railway. Transport à la côte.

On a eu soin de mettre sur le chariot deux planches solidaires avec le bloc et qui sont suiffées sur la face qui touche le chariot.

On conduit ainsi le bloc sur le bord de la mer, dans laquelle on le fait descendre avec le chariot sur une cale flottante qui par le poids du bloc et de son chariot s'appuie sur une autre cale fixe inclinée au 1/6.

On les y retient à une hauteur telle qu'on puisse placer à côté du bloc deux tonnes de $6^m,50$ de longueur et $2^m,40$ de diamètre. Ces flotteurs sont unis par une charpente à laquelle on attache deux chaînes qui saisissent le chariot d'un bout à l'avant et de l'autre à l'arrière, de plus une autre chaîne entoure le bloc sur les côtés et la face la plus basse, et par conséquent l'empêche de glisser. Alors, laissant achever de descendre le chariot et le bloc sur la cale, et tirant le système au large, il se trouve à flot soutenu par les tonnes, et on peut remorquer le bloc et le chariot ainsi inclinés jusque sur l'enrochement. Transport avec flotteurs.

La chaîne ceinture est formée de deux parties réunies par une clavette devant la face la plus basse du bloc, de sorte que celui-ci n'étant plus retenu, quand on retire la clavette, glisse sur le chariot entraînant les planches suiffées, et coule au fond de la mer ou sur les autres blocs précédemment échoués. Coulage.

Par ce nouveau système de blocs artificiels, exécuté à Alger depuis huit ans, on a obtenu un enrochement terminé par un talus de 1 1/4 du côté du large et de 1 du côté de l'intérieur. Talus de ces enrochements.

Dans cette circonstance, le môle partant du rivage, on a pu achever la partie supérieure par des blocs conduits sur un rail-way et renversés à la mer sur ceux qui avaient été échoués. Dans le cas d'un brise-lame isolé, ce moyen ne serait plus applicable, et il faudrait un procédé particulier pour élever les blocs, lorsque la tranche d'eau restant sur l'enrochement ne permettrait plus le flottage des blocs et des tonnes. Chemin de fer pour achever le sommet.

Dans les travaux du fort Boyard, on a façonné sur la côte de l'île d'Oléron, des blocs de béton de quinze mètres cubes pesant 35,000 kilog. Leurs dimensions sont 4 mètres sur $2^m,50$ et $1^m,50$. Construits sur un chemin de fer, ils étaient soulevés par quatre verrins de $0^m,07$ de diamètre, placés sur un chariot à six roues, et conduits dans le chenal de la Perrotine. Application des blocs au fort Boyard.

Là ils étaient repris par un appareil flotteur (*fig.* 72) composé de deux tonnes, d'un échafaud avec plancher et de quatre treuils. Les deux tonnes (*fig.* 74 et 75), ainsi que la charpente, sont entièrement en sapin. Un bloc suspendu par les chaînes des treuils se trouve placé entre les deux tonnes contre lesquelles il est fortement pressé au moyen des coins fixes D et des coins mobiles B ; il est en outre bridé par une chaîne passant en dessous dans le sens de sa longueur, et raidie par de petits palans fixés à la charpente.

D'un autre côté, les tonnes sont maintenues dans les angles de l'échafaud par des cordages qui les enveloppent.

Le bloc est donc bien saisi entre les tonnes avec lesquelles il forme un seul système, et les oscillations dans le transport sont peu à craindre.

L'appareil chargé d'un bloc immergé cale environ $1^m,60$ jusqu'au dessous des tonnes et du bloc.

Un bateau à vapeur de la force de quatre-vingts chevaux remorque deux blocs à la suite l'un de l'autre et marchant perpendiculairement à leur longueur, sens où la résistance est moindre à cause de la forme arrondie des tonnes faisant proue.

Le transport du chenal de la Perrotine à l'enrochement de Boyard se fait en moins d'une heure.

L'échouage demande une belle mer et beaucoup d'attention. On est parvenu à placer quelques blocs en contact, mais la plupart sont espacés de $0^m,20$ à $0^m,50$ et quelquefois de $0^m,80$.

Gros blocs à la surface.

Il n'est pas nécessaire que tout le massif d'un môle soit composé de blocs de dix à quinze mètres cubes; on conçoit qu'en les plaçant seulement à l'extérieur, et sur une certaine épaisseur, l'intérieur pourra être rempli en pierres de toute grosseur, lesquelles se trouveront garanties par les gros blocs des attaques de la mer. L'économie engage à cette disposition adoptée pour les môles que l'on construit maintenant à Marseille, à Bastia, etc.

Petites pierres dans l'intérieur.

Dans les massifs on doit employer de petites pierres pour remplir les interstices que les grosses laissent entre elles. Aux brise-lames de Cette et de Plymouth, on employait à peu près un tiers de très-grosses pierres, un tiers de moyennes et un tiers de petites.

Volumes du vide et du plein.

On sait, par l'expérience de la jetée d'Alger, que pour des blocs de 10 mètres cubes, de $3^m,4$ de long sur $2^m,00$ de large, la proportion du vide au plein est de un à deux; c'est-à-dire qu'il y a un tiers de vide dans le massif formé par ces blocs jetés les uns sur les autres.

Les vides entre ces gros blocs étant très-grands, il est indispensable de les remplir au sommet de l'enrochement avec des blocs plus petits, afin de pouvoir recouvrir le tout d'une couche générale de béton avant d'exécuter les premières maçonneries.

Enrochement dans encoffrement.

On a aussi construit des enrochements dans des coffres de charpente; les cônes de Cherbourg en offrent un exemple mémorable; ce genre de construction, beaucoup moins usité aujourd'hui, depuis que les vers tarets ont pénétré dans presque tous les parages d'Europe, est principalement applicable aux jetées dont nous parlerons plus loin.

Tassement des enrochements.

Lorsqu'un enrochement est arrivé à la hauteur à laquelle on doit élever les maçonneries, il importe, avant de les commencer, de laisser opérer les tassements pendant près d'un an. Ce n'est pas que cette précaution mette les maçonneries futures entière-

ment à l'abri de l'abaissement auquel elles sont exposées, mais au moins les plus grands mouvements seront effectués. On a de plus l'avantage d'observer les modifications que la mer apportera au profil de l'enrochement, et de reconnaître les points qu'il conviendrait de recharger en gros blocs.

Les affaissements qui s'opèrent dans les maçonneries construites sur les enrochements paraissent provenir de trois causes : Affaissement des maçonneries. Écrasement des angles.

1° L'écrasement des parties anguleuses des matériaux employés, lesquels, dans leur chute, ne se placent pas toujours sur leur large base;

2° Le moindre volume résultant de l'arrimage des blocs dont chacun, avec le temps, pénètre de plus en plus dans les interstices des autres, soit par le choc direct des lames, soit par les déplacements moins forts dus à l'agitation extérieure communiquée par siphonnement entre les vides; Arrimage des blocs.

3° Les ébranlements des maçonneries elles-mêmes, causés par le choc direct des lames dans les tempêtes ou par la sous-pression dans le siphonnement et la pression qui lui succède; ces ébranlements font pénétrer et descendre insensiblement les massifs de maçonnerie dans les parties mobiles de l'enrochement qu'elles écartent. Ébranlement par les vagues.

Ces enfoncements se sont fait remarquer à la digue de Cherbourg, dès la pose des premières assises de la muraille. Ils augmentent dans les forts coups de vent; des nivellements exacts ont fait voir qu'une grande tempête ébranlait plus ou moins toutes les parties de la muraille, même après deux ans de construction. Ces enfoncements allaient jusqu'à 10 centimètres.

Comme exemple remarquable de ces mouvements, je citerai ceux produits pendant la tempête de décembre 1836 dans les maçonneries exécutées en 1834 (*fig.* 48 et 49). Affaissement à la digue de Cherbourg.

Outre des disjonctions transversales à la muraille, il y a eu sur environ cent mètres de longueur un grand déchirement parallèle à l'axe. Dans les parties où la lézarde n'était qu'à 2 mètres du parement nord, celui-ci s'est écroulé; mais sur une partie *cdf*, où elle occupait le milieu de la muraille, les deux masses sont restées debout, séparées par une grande fente *o i* qui allait en s'élargissant par le bas, ce qui indiquait que l'écartement avait commencé par le pied. De plus, la portion de muraille du côté sud avait éprouvé un abaissement qui était en quelques points de 0^{m},40. Or, d'après les sondes faites sur l'enrochement en 1831, on a reconnu que dans la partie de ce grand déchirement, la crête du talus de la vieille digue était dessous le milieu de la muraille, de sorte que la moitié nord était assise sur d'anciens enrochements *mmm*, tandis que la moitié sud reposait sur des enrochements récents *ppp* qui ont dû céder davantage; n'est-il pas naturel de penser que les ébranlements violents de la muraille poussée, frappée, comprimée par des vagues énormes, l'ont fait descendre et pénétrer dans les parties mobiles de l'enrochement en les écartant? Les résistances inégales de l'enrochement ont dû amener des enfoncements inégaux et par conséquent des ruptures.

Un autre exemple de l'affaissement propre aux enrochements nous sera donné à la jetée d'Alger. Affaissement de la grande jetée d'Alger.

La figure 55 est le plan de la grande jetée en construction dans ce port, la figure est le profil en travers pris en D E avant et après une forte tempête de janvier 1841. Cette partie de la jetée n'avait subi aucune altération des attaques de la mer. La figure 51 représente le profil pris en F G avant la tempête précédente, et la figure fait voir le même profil après la tempête. On reconnait dans ce dernier un tassement assez considérable ; il ne peut être attribué au poids de la tranche de béton recouvrant le sommet de la jetée, ni à celui du bloc formant parapet du côté du large. D'un autre côté, soit qu'il n'y ait pas de ressac, soit qu'à la profondeur de la jetée il soit insensible, on ne remarque, dit-on, aucun affouillement dans le sable au pied des talus. L'affaissement du sommet vient donc uniquement d'un léger déplacement des blocs produit par le choc direct des vagues à l'extérieur, et par le siphonnement à l'intérieur.

La tempête de novembre 1843 a donné lieu à des abaissements encore plus prononcés. A cette époque la jetée avait atteint une longueur de 223 mètres mesurés au couronnement, et se terminait dans des profondeurs de 15 à 16 mètres ; elle est représentée en plan dans la figure 55. La figure 58 est le profil en long du sommet depuis l'extrémité C jusqu'à la partie un peu au delà de A qui n'a pas éprouvé de mouvement. Dans ces deux figures, qui indiquent la situation de la jetée avant et après la tempête, les lignes ponctuées sont relatives au premier état. Les 28 derniers mètres B C avaient été coulés sur la fin d'octobre et le commencement de novembre, le sommet était à 3 mètres au-dessus du niveau de la mer, lorsque survint la terrible tempête du 17 novembre 1843. Les 25 derniers mètres du couronnement ont presque disparu pendant le coup de mer. Après le calme, quelques fragments seulement se montraient encore au-dessus de l'eau.

Selon l'usage le sommet de l'enrochement avait été recouvert d'une couche de béton exécutée en deux coulées, ayant pour ligne de jonction l'axe longitudinal de la jetée. Dans les parties de ce couronnement restées à l'état de fragments reconnaissables, on a remarqué que les coulées s'étaient séparées suivant la ligne de jonction ; la coulée de l'extérieur en s'abaissant s'était avancée du côté du large, tandis que l'autre semblait n'avoir éprouvé qu'un mouvement vertical.

Les parties de la jetée, faites pendant le commencement de la même année 1843 et pendant la campagne de 1842, avaient subi des affaissements et des mouvements bien moins considérables ; ils étaient indiqués par des fractures à peu près perpendiculaires à la jetée ; d'autres fractures, beaucoup moins fortes, parallèles à l'axe, accusaient une séparation longitudinale dans le couronnement semblable à celle dont il a été parlé.

L'inspection du plan et du profil, représentant les mouvements, fait voir qu'ils augmentaient graduellement jusqu'à l'extrémité de la jetée ; beaucoup de causes concourent à cet accroissement d'effet. Vers son enracinement la jetée est attachée à des ouvrages fixes, le massif est peu élevé, l'enrochement est déjà ancien, il est plus éloigné des lames du large et la mer y est peu profonde ; à l'extrémité de la jetée, c'est tout le contraire.

Trois faits importants ressortent des effets produits par la tempête de novembre 1843,

qui peut être considérée comme extraordinaire. Le premier est que les blocs de dix mètres cubes peuvent être remués et déplacés par les plus violents coups de mer de la côte d'Algérie ; le second qu'un enrochement formé de ces blocs, coulés depuis un an, ne subit que très-peu d'altération. Le troisième enfin, est que le même enrochement qui a supporté les attaques de la mer pendant deux ans est, par cela même, à l'épreuve des plus fortes tempêtes. Néanmoins, pour plus de sécurité, aujourd'hui, comme je l'ai déjà dit, on porte le volume des blocs à quinze mètres cubes.

Selon les renseignements que j'ai pu me procurer, le mètre cube d'enrochement en ouvrage serait revenu, toutes dépenses comprises : Prix des enrochements.

A Cherbourg, à.	5fr. ,20
A Cette.	9 ,33
A Plymouth	19 ,00
A Boyard.	40 ,00
A Alger (gros blocs artificiels).	30 ,00

La fondation d'un môle par béton, consiste à former une enceinte périmétrique de béton dont on remplit plus tard l'intérieur en matériaux quelconques ; ce procédé ne peut être appliqué que dans une profondeur de cinq à six mètres. Fondation des môles en béton,

Pour couler le béton, il faut d'abord construire un encoffrement de charpente auquel on donne la forme de l'enceinte. Chaque parement de coffre est composé de pieux jointifs, si le terrain permet une fiche convenable ; si le fond est de rocher, on ne peut faire entrer que le sabot des pieux, et l'on cherche à soutenir ceux-ci d'une manière quelconque. Voici comme on s'y est pris pour la fondation des môles du port militaire de Cherbourg BB, *fig*. 36 et 42. dans encoffrement de charpente, sur fond de rocher, à Cherbourg,

Le pieu *a* (*fig*. 38, 39 et 40), étant lié avec la semelle *c d* par un étrier *m*, et les moises *r c* étant assemblées et boulonnées en *c* et non en *r*, on battait le pieu *a* ; il n'entrait que très-peu dans le roc, ce n'était qu'alors qu'on plaçait le boulon *n*, et le système avait quelque solidité. Pour lui donner plus de stabilité, on posait sur les semelles des caisses à claire-voie *h h* qu'on remplissait de blocs de pierre ; ensuite on descendait le long des pieux des panneaux de madriers jointifs *i i*, touchant le rocher autant que possible pour retenir le béton.

Le béton était fait avec de la pouzzolane d'Italie ou du trass de Hollande. On a d'abord essayé de le couler avec des trémies, mais on n'a pu y réussir. On a employé des caisses *h* (*fig*. 41) dont une paroi verticale manquait ; elles étaient saisies aux quatre angles par les chaînettes, dont deux *m* étaient fixées invariablement, et les deux autres *c* étaient passées dans deux crochets *r*. Les quatre chaînettes étaient réunies à une chaîne principale *d* enroulée sur un treuil. Quand en descendant la caisse, chargée de béton dans un de ces angles, le fond touchait le roc ou le béton déjà coulé, et que l'on continuait à descendre la chaîne *d*, on voit que les chaînettes *c* quittaient d'elles-mêmes les crochets *r* ; de sorte qu'après avoir descendu la chaîne *d* suffisamment et la remontant, les chaînettes *m* seules relevaient la caisse et la renversaient.

Je ne rapporte point ce procédé comme un exemple à imiter, nous en avons aujourd'hui de meilleurs ; mais j'ai cru qu'il était bon de rappeler celui qui a servi à une des principales constructions maritimes.

dans la Méditerranée,

Dans la Méditerranée, beaucoup de fondations de môle en béton ont été faites par encoffrement sur un terrain rocheux, ainsi qu'il suit :

Un pieu de $0^m,30$ d'équarrissage (*fig.* 193), une palplanche de $0^m,10$ d'épaisseur et un petit pieu de $0^m,16$ d'équarrissage sont appliqués en longueur les uns sur les autres, la palplanche au milieu ; ils sont reliés par des boulons ; les trois pièces ensemble sont battues à des intervalles de $1^m,50$ d'axe en axe, les gros pieux sont à l'extérieur de l'encoffrement, de manière à laisser en regard les unes des autres des espèces de feuillures dans lesquelles on glisse des madriers horizontaux de $0^m,10$ d'épaisseur, dont le plus bas est taillé selon le relief du rocher sur lequel il s'applique aussi exactement que possible.

Une autre file de pieux semblables, battus vis-à-vis des premiers et réunis par des madriers, forme l'autre paroi de l'encoffrement auquel on donne une épaisseur déterminée par celle du mur à élever sur le béton. Les deux parois sont reliées en tête par des pièces qui empêchent l'écartement. On peut construire ainsi des encoffrements de six mètres de profondeur ; après l'endurcissement du béton, on enlève les parois pour les faire servir de nouveau.

sur sable, draguage intérieur.

On doit draguer l'intérieur de l'encoffrement s'il est établi sur un terrain mou ou vaseux, et mettre à nu le terrain dur auquel le béton doit être soudé.

Épaisseur des encoffrements.

Quant à l'épaisseur à donner au béton, c'est-à-dire à l'intervalle entre les parois de l'encoffrement, Belidor dit que l'usage est de donner moitié de la profondeur de l'eau, si on est dans l'intérieur du port, ou les deux tiers, si on est au large ; mais l'on conçoit que cela dépend aussi de la hauteur des maçonneries qu'on veut élever sur le béton, lequel, d'après la règle ci-dessus, pourrait se trouver moins large que l'épaisseur du mur. Cette dernière considération est donc celle qui paraît devoir plutôt guider.

Du relief des môles au-dessus de la mer.

Le relief des môles au-dessus de la mer présente deux problèmes importants : 1° de combien doivent-ils dépasser le niveau de la mer ; 2° quelle forme doit-on donner au profil ?

Les brise-lames destinés à empêcher la transmission des ondulations et de l'agitation de la mer devraient dépasser les plus hautes vagues, mais celles-ci dans les tempêtes acquièrent des hauteurs telles, qu'il faudrait donner aux môles une élévation et un empatement considérables. On doit donc se borner à la hauteur des fortes vagues ordinaires ; dans l'Océan on n'a dépassé les hautes mers d'équinoxe que de quelques mètres.

Quant à la forme générale du relief au-dessus de la mer, on peut distinguer deux systèmes : 1° On a élevé des murs abrupts dont les parements, quelquefois courbes à la base, ont plus ou moins de fruits ; 2° on a arrondi le sommet des môles de manière à n'offrir aux lames qu'un talus doux avec le moins d'aspérités possible.

Premier système.

Dans le premier système exécuté à Cherbourg, à Boyard, à Cette, etc., les murs présentent aux lames un obstacle brusque et reçoivent des chocs violents.

Les talus de l'enrochement en avant des murs empêchent les vagues de se développer en dessous, le mouvement descendant se transforme en vitesse horizontale fatale à la solidité des murs. Chaque lame vient donc battre les murs en raison de cette vitesse, outre la pression considérable qu'elle exerce contre eux en achevant son oscillation ascensionnelle. Une autre circonstance non moins désastreuse s'ajoute aux efforts directs de la mer; les blocs qui recouvrent les talus sont enlevés, transportés et jetés contre les murs qu'ils battent en brèche.

Dans l'autre système, les vagues n'étant point arrêtées brusquement dans leur développement, et trouvant un talus assez doux, y déferlent comme sur une plage; elles s'y brisent avec moins de fureur; il est vrai que par une conséquence de cette forme, elles acquièrent une grande vitesse horizontale, mais le parement du brise-lame étant rendu aussi uni que possible, l'eau de la mer ne fait que glisser à la surface, sans trouver une résistance qui amènerait la dégradation. Second système.

C'est ce système qui paraît avoir été adopté pour le sommet du Breakwater de Plymouth, élevé seulement de $0^m,60$ au-dessus des hautes mers de vive eau (*fig.* 65). Une grande partie du talus qui reçoit les lames du large, côté de l'ouest, a été recouverte d'un pavé incliné au cinquième (*fig.* 67, 68); il est formé de blocs qui ont $1^m,20$ sur un mètre à la surface et $0^m,80$ d'épaisseur. Ils sont posés par rangs horizontaux, pleins sur joints, avec mortier de ciment Parker.

Ce glacis s'étend sur la partie comprise entre les hautes et basses mers de vive eau. On se proposait de le continuer plus bas au moyen de la cloche à plongeur.

Ce second système est à l'avantage des massifs qui sont moins attaqués et qui doivent se conserver plus longtemps. Mais il n'est pas douteux qu'il ne laisse transmettre plus facilement l'agitation et l'ondulation dans les parties d'une rade où l'on veut obtenir la tranquillité, puisqu'il n'arrête pas entièrement les lames dans leur partie supérieure.

CHAPITRE X.

DES MAÇONNERIES DES MÔLES.

Maçonneries sur les enrochements,

Lorsqu'on a placé les dernières pierres de l'enrochement, celles qui doivent porter la maçonnerie, on répand sur elles une couche de béton qui en remplit les vides, alors on pose une assise de gros blocs dont on remplit encore les intervalles en béton.

A Cherbourg on a quelquefois coulé la première couche de béton sur toile, afin que le mortier ne fût pas délavé par siphonnement; on a renoncé à cette précaution, parce qu'elle n'était pas nécessaire quand on posait de suite la première assise, et qu'elle était insuffisante, quand on ne pouvait poser cette assise qu'à la campagne suivante, les mers d'hiver ruinant le béton.

La première assise des maçonneries sur enrochement, tant qu'elle n'est pas recouverte de quelques autres, est exposée à l'action puissante du siphonnement qui la délave et la détériore en dessous, tandis que les vagues qui déferlent l'ébranlent et la dégradent en dessus.

On doit donc la recouvrir immédiatement, ce qui est facile si l'on construit dans la Méditerranée, mais ce qui l'est beaucoup moins dans l'Océan, où l'on ne travaille que par marée, et où la pose est difficile puisqu'elle ne se fait que dans les basses mers des vives eaux et avec précipitation.

Il paraît qu'il faut au moins un mètre et demi de hauteur de maçonnerie pour bien résister au siphonnement produit par de fortes lames.

très-exposées aux coups de mer.

Effet des vagues sur elles.

Les maçonneries exécutées sur les enrochements sont, par leur but même, exposées aux plus violents coups de mer et exigent beaucoup de soins. Dans le choc direct des vagues, les pierres de taille éprouvent de fortes secousses qui peuvent les détacher des mortiers, et au retour des lames elles tendent à quitter les massifs, surtout si l'eau a pu s'insinuer derrière elles.

Dans les maçonneries soumises à l'action des marées, l'eau qui s'est infiltrée à mer haute par les joints tend à en sortir à mer basse, et entraîne des particules de mortier

avec elle; cet effet, répété deux fois par jour, produit à la longue des dégradations plus ou moins graves qu'on ne saurait trop prévenir dans le principe en rendant la maçonnerie parfaitement pleine.

Il faut surtout remarquer que lorsque le parement en pierres de taille est très-haut, et que le massif est composé de petits moellons, la différence de tassement tend à faire ouvrir les lits, produit des chambres derrière et commence le genre de dégradation que nous venons de signaler.

On doit donc, autant que possible, rendre les pierres de parement solidaires entre elles et avec les massifs.

Profil des parements.

Le profil du parement a fixé l'attention des constructeurs; généralement il est en ligne droite avec un léger fruit, quelquefois on a raccordé le pied avec la plage ou avec l'enrochement par une partie circulaire concave de 80° environ et d'un rayon de huit à dix mètres (*fig.* 208).

Il semble que lorsque le pied de la maçonnerie est au-dessus des basses mers et précédé d'une risberme naturelle ou artificielle en talus qui gène le développement des vagues, celles-ci acquérant une grande vitesse de translation horizontale viennent frapper moins rudement un parement courbe qu'un angle rentrant abrupt; à quoi il faut ajouter que les voussoirs du parement courbe, plus larges en queue qu'en tête, sont retenus naturellement dans leur place. Enfin, cette courbure rejette au large les lames de retour, qui dans les parements rectilignes retombent avec violence au pied des murs et compromettent les fondations, quand le terrain sur lequel elles sont placées est susceptible d'affouillement. Mais la sujétion de la pose et de l'appareil de ces surfaces courbes augmente les difficultés, le temps et la dépense de la construction.

Appareil et frottement des pierres du parement.

Il importe que les pierres de parement soient goujonnées entre elles par assise, et d'une assise à l'autre, si elles ne peuvent être d'une forte dimension. Très-certainement, ce qu'il y aurait de mieux à faire, serait de former la totalité des massifs en pierres de taille; mais ce genre de construction très-dispendieux n'a été employé que dans des occasions rares, comme les phares, les musoirs des jetées, etc.

Dans ce cas, on assemble les pierres entre elles par queue d'aronde, ou par d'autres petites pierres très-dures ayant cette forme, et faisant office de crampons métalliques. On place aussi de petits dés de pierre dure, engagés à moitié dans deux assises contiguës, et tendant à leur solidarité. Ce système, dont le célèbre phare d'Edystone a offert une des premières applications, a été employé avec succès à la tour de Boiwinet, construite comme amer sur le rocher de ce nom, à l'entrée du pertuis de Fromentine. Les figures 160 et 164 représentent la coupe et le plan de cet appareil.

Il est difficile de goujonner les pierres de taille des môles. L'eau de la mer attaquant le fer, on ne peut employer ce métal que lorsqu'on est certain qu'il sera toujours caché sous les mortiers; dans ce cas, il se conserve intact, ainsi que je l'ai remarqué dans la démolition de l'écluse de Flessingue, dont les pierres de parement étaient reliées intérieurement avec des agrafes en fer parfaitement conservées, tandis que les boulons du radier étaient entièrement corrodés.

Le cuivre rouge et le bronze donnent des crampons très-durables, mais ils ne sont pas aussi forts et ils sont très-coûteux.

L'excellence des ciments hydrauliques modernes ne laisse d'ailleurs rien à désirer pour les scellements des pièces métalliques dans les pierres de taille.

Précaution pour élever les maçonneries.

Quant à la manière de diriger l'exécution des maçonneries, la prudence invite à ne point arraser l'ouvrage par assise d'une grande longueur ; mais à faire suivre de très-près l'atelier d'une assise par celui de l'assise supérieure, de manière à ce que la maçonnerie avance progressivement sur une certaine hauteur, et que chaque assise soit presque immédiatement chargée des assises supérieures, dont le poids l'affermit contre les coups de mer qui auraient lieu pendant la construction. Cette marche est surtout convenable dans l'Océan, lorsque les murailles sont arrivées au niveau des mers moyennes, hauteur à laquelle les ouvrages sont exposés aux plus rudes assauts des vagues.

Prompte prise des mortiers très-désirable.

De l'eau qu'on doit y employer.

On voit que le succès des maçonneries à la mer, plus que de toutes autres, dépend de la promptitude de la prise des mortiers, pour lesquels on doit choisir les éléments les plus énergiques. Quant à l'eau qu'il faut employer dans le mélange, rien ne justifie une préférence bien marquée pour l'eau douce sur l'eau de mer. Belidor dit qu'on se sert, et qu'on doit se servir, de l'eau de mer, et en effet, plusieurs expériences faites à Calais indiqueraient qu'elle aurait quelque avantage. Sur la digue de Cherbourg, où les mortiers sont faits à l'eau douce, tous ceux que j'ai rompus étaient fortement salés dans l'intérieur, à l'exception des bétons énergiques dont la prise avait été très-prompte.

Difficulté du dépôt des matériaux.

Avantage des bateaux à vapeur.

Une des plus grandes difficultés de l'exécution des maçonneries des môles isolés, consiste dans le manque d'espace pour le dépôt des matériaux. En général, on est forcé d'établir le chantier sur quelques points de la côte voisine. C'est là qu'on approvisionne et qu'on taille les pierres d'appareils, qu'on triture le mortier, qu'on fabrique le béton ; le tout est transporté en quelques heures sur l'atelier et employé avec le plus de célérité possible, surtout lorsqu'on ne peut travailler que par marée. Sous ce point de vue, l'emploi des bateaux à vapeur remorqueurs a rendu un service éminent, en donnant aux transports la célérité et la certitude qu'on ne pouvait attendre du remorquage à la voile.

Cette gène pour les approvisionnements des matériaux a engagé à les déposer sur la maçonnerie même qu'on doit élever, et à les y échouer quand on travaille dans l'Océan. Mais leur présence, s'il arrive des coups de vent, détermine des ressacs et produit sur les maçonneries fraîches des affouillements plus ou moins profonds, surtout quand, par suite du mauvais temps, les travaux restent longtemps suspendus.

Il est plus prudent d'apporter tous les matériaux préparés dans des bateaux plats, pouvant accoster l'enrochement ou être échoués sur les risbermes, non sans danger pour eux, s'ils y sont surpris par le mauvais temps.

Importance de la célérité

De tout ce qui précède, résulte évidemment l'importance de hâter le travail des maçonneries à la mer; tout doit tendre à obtenir la plus grande masse dans le moindre

temps, pour diminuer la chance des tempêtes pendant la construction, et augmenter la résistance des maçonneries déjà élevées. La rapidité de l'exécution est une des plus fortes garanties du succès. dans les maçonneries.

Les maçonneries à la mer ne peuvent s'exécuter que dans la belle saison. Outre les gelées qui leur sont contraires, comme à toute maçonnerie, la mer est généralement trop forte en hiver pour que les embarcations puissent accoster et se tenir près des enrochements sans danger; et d'autre part les gros temps sont trop rapprochés, pour que le travail du peu de jours favorables qu'on aurait pu saisir, ne soit pas détruit pendant les jours suivants. Sur nos côtes de l'Océan, une campagne ne se compose que de six à sept mois dans lesquels on ne peut compter pour les premières assises que 150 à 300 heures de travail effectif, tant de jour que de nuit.

Époque pour maçonner à la mer.

Temps d'une campagne par marées.

Comme exemple de maçonnerie construite à la mer, je décrirai brièvement les travaux de la muraille de Cherbourg, tels que je les ai vus en 1836, sur la branche est du brise-lame CDE (*fig.* 36).

Exemple de la muraille de Cherbourg.

La digue de Cherbourg, destinée à procurer le calme dans la rade et un refuge contre l'ennemi, a été commencée en 1784. Sa construction a passé par bien des phases dont l'historique, quoique très-intéressant pour notre sujet, ne peut trouver place ici. Il nous suffira de savoir que l'expérience de soixante années a démontré que les enrochements composés de gros blocs naturels, même de un à deux mètres cubes, ne pouvaient résister aux fortes tempêtes de la Manche; que la mer les remuait incessamment, les usait, les roulait du nord au sud, et finissait par les niveler à la hauteur des basses mers. Mais en même temps cette grande expérience apprenait que certains groupes de maçonnerie bien exécutée avaient survécu à tous les désastres des tempêtes précédentes.

Partant de ces deux faits capitaux, on se décida en 1828 :

1° A construire, sur tout ce qui restait de la digue, un massif de forte maçonnerie *a* (*fig.* 47). Il devait être élevé de trois mètres au-dessus des plus hautes mers pour obtenir le calme dans la rade, et il devait avoir dix mètres d'épaisseur pour opposer aux vagues une résistance complète.

2° A recouvrir le sommet de l'enrochement du côté du large par des blocs naturels de un à deux mètres cubes, et par des blocs en béton de six mètres cubes, rangés au pied de la muraille.

Il s'agissait de construire cette muraille après avoir placé les blocs.

Ceux-ci étaient façonnés dans des caisses sur la plage de l'anse Chantereine AA (*fig.* 36) à environ trois mille mètres de la digue. On amenait sur chacun d'eux, à mer montante, un ponton auquel on le fixait en dessous par des cordages. Dès que les blocs et leurs caisses étaient soulevés par le flot, ils partaient remorqués par un bateau à vapeur au nombre de huit ou dix. En cinquante minutes ils arrivaient sur le côté sud *c* (*fig.* 46) de la digue où le bateau à vapeur les quittait ; ayant pu partir deux heures avant la pleine mer ils avaient encore le temps de franchir l'enrochement pour passer

sur le côté nord *d* de la digue. Là, serrés bord à bord, ils étaient placés en ligne au moyen d'une chaîne fixée à l'enrochement; les amarres des blocs étant larguées au même instant, l'échouage sur la risberme avait lieu simultanément; la mer troublait souvent la régularité de cette opération.

Les derniers blocs *b b b*, à l'extrémité de la maçonnerie en construction, demeuraient quelque temps retenus par la chaîne (*fig.* 46).

On échouait aussi des blocs de béton dans l'emplacement R de la première assise de la muraille pour en hâter le remplissage; mais on ne les dépouillait des parois verticales des caisses que le jour où on maçonnait autour d'eux, autrement les herbes marines, qui croissaient avec une promptitude extraordinaire, auraient empêché la liaison avec le béton coulé.

Quatre bateaux chalands *a a a* (*fig.* 37 et 46) de la contenance de 12 à 15 mètres cubes chargés, un de mortier et trois autres de béton, étaient accostés ou échoués sur la risberme sud de la digue, sur environ 120 mètres de longueur, devant la partie de muraille à commencer.

C'était aussi sur cette risberme sud qu'on versait les moellons qui devaient être employés, et qu'on échouait les bateaux qui apportaient les pierres de taille des trois premières assises.

Le bardage se faisait avec des planches et des rouleaux, le mortier et le béton étaient transportés à la civière.

Avant le moment de basse mer, et dès qu'il n'y avait plus que $0^{m},40$ à $0^{m},50$ d'eau sur le sommet de l'enrochement, des hommes commençaient à couler le béton dans l'emplacement *s* de la première assise et même de la seconde *m*; ils portaient aussi du moellon et du mortier pour les deux autres assises. Le béton était contenu par les blocs de la risberme nord, et par les pierres de taille du parement posées dans la marée basse précédente.

Chacune des trois premières assises inférieures *s m p* occupait une longueur de digue de 25 à 30 mètres, et chacune d'elles suivait l'autre par gradin. La première, exigeant les courts instants des plus basses mers de vive eau, était entreprise sur toute sa superficie à la fois, et on se hâtait d'y jeter le béton de remplissage qui la composait presque entièrement.

Ces trois premières assises formaient ensemble une hauteur d'environ deux mètres de maçonnerie, et arrivaient au niveau auquel la mer commence à faire le plus de dégât; on recouvrait donc ces assises de trois autres dont les ateliers se suivaient de très-près, afin de donner immédiatement plus d'épaisseur et de stabilité au massif qu'on était forcé d'abondonner pendant la haute mer pour le reprendre à la marée suivante.

Ces derniers ateliers tiraient leurs matériaux du centre de la digue, et étaient servis par des manœuvres arrivant par la portion de muraille déjà en partie achevée.

La grande difficulté de construction de la muraille était l'approvisionnement des matériaux. On ne pouvait les placer sur la risberme nord où ils auraient été exposés à toute la violence des vagues; on ne pouvait les placer sur les parties déjà élevées de la muraille, parce que leur transport aurait entravé tous les ateliers sur lesquels ils auraient dû passer; on ne pouvait donc les déposer que sur la risberme sud.

On avait essayé d'échouer les chalands sur l'emplacement même où l'on devait maçonner pour hâter le versement des matériaux et surtout du béton, mais les bateaux soulevés et brisés par la mer bouleversaient la maçonnerie déjà exécutée.

Les pierres de taille du parement étaient posées à bain de mortier sur cales de schiste dur. Les joints, garnis extérieurement d'étoupe, étaient d'abord coulés avec du mortier clair; puis, quand on s'était assuré que le massif était bien plein et que l'eau n'en sortait pas à basse mer, l'étoupe était enlevée et remplacée par le ciment de Pouilly.

Sur les portions de la muraille qui ne pouvaient être élevées complétement avant l'hiver, et à la hauteur où on voulait terminer la campagne, on employait des moellons plats posés de champ, en hérisson et en dos d'âne *n n n*; les rangées étaient parallèles à l'axe de la digue. On coulait dessus une couche de mortier un peu mou en l'introduisant avec force dans les joints. Ce genre de pavé a rarement reçu atteinte des grosses mers d'hiver.

C'était principalement sur la fin de la campagne que l'on employait dans le massif de la première assise les blocs de béton, dans l'incertitude où l'on était de pouvoir continuer aux marées suivantes et achever de consolider la partie commencée avant l'hiver.

L'atelier de la muraille de Cherbourg, quand je l'ai visité, contenait de 300 à 400 ouvriers qui, la plupart, couchaient dans les baraques du centre de la digue; ils travaillaient souvent dans les marées de nuit.

Une campagne se composait de cinq à six mois, à commencer de mars, c'est-à-dire de 48 marées, ou d'environ 150 heures pour le travail des trois premières assises.

On faisait dans une campagne 200 à 250 mètres courants de muraille à différentes hauteurs, et environ 18,000 mètres cubes de maçonnerie.

Un second exemple de maçonnerie à la mer nous sera donné par le fort Boyard.

Exemple du fort Boyard.

Sur le banc du Boyard, à 3,000 mètres de la côte nord-est de l'île d'Oleron, on a jeté, au commencement de ce siècle, une masse d'enrochement destinée à la construction d'un fort dont les feux doivent se croiser avec ceux des batteries de l'île d'Aix et de l'île d'Oleron.

Dans le courant de l'année 1807, l'enrochement dépassait la hauteur des basses mers de vive eau ordinaire; la partie qui découvrait alors avait environ 80 mètres de long sur 50 mètres de large (*fig.* 70).

Dans la campagne de cette année, c'est-à-dire depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, on avait commencé la maçonnerie; on n'avait pu y travailler que pendant 72 marées et 160 heures. On n'avait pu placer, tant sur l'enrochement que dans les

bateaux chargés des pierres et du mortier, que 120 ouvriers. Le travail total ne représentait que 1,307 journées de dix heures.

On avait exécuté une partie de la première assise des fondations. Elle était entièrement composée de pierres de taille jointives de $2^m,60$ de long sur $1^m,60$ de large, et $0^m,60$ d'épaisseur. La surface maçonnée était de 830 mètres carrés. Les pierres étaient posées avec mortier de chaux faiblement hydraulique et pouzzolane d'Italie.

Trois mois après, en février 1808, une grande tempête bouleversa tout le travail. La plupart des pierres de taille furent soulevées, renversées les unes sur les autres, en se recouvrant à peu près comme les tuiles d'un toit.

Interrompus et abandonnés depuis cette époque, les travaux du fort Boyard n'ont été repris qu'en 1842. Le souvenir des avaries de 1808 a engagé à suivre un autre système; mettant à profit les leçons du passé, employant les ciments énergiques modernes, usant enfin de toutes les ressources que l'art a mis récemment à la disposition de l'ingénieur, on est parvenu à maçonner le socle de fondation qui doit porter le fort.

On a d'abord reconnu que les matériaux qui forment l'enrochement étant beaucoup trop petits pour ne pas être continuellement remués par les fortes lames, et surtout par le ressac que produirait la muraille du fort, il fallait s'opposer aux affouillements qui compromettraient les fondations. Dans ce but, on a assuré et consolidé le talus sous-marin de l'enrochement par de gros blocs artificiels en béton, de quinze mètres cubes chacun, disposés au pourtour du socle sur trois rangs concentriques, comme l'indiquent les fig. 71 et 73 (1).

Quant à la maçonnerie, voici les procédés qui ont été suivis pour l'exécuter.

Le sommet de l'ancien enrochement était de forme très-irrégulière, comme on peut le voir par les profils de la figure 69; des parties découvraient aux basses mers de vive eau, d'autres étaient à un mètre et plus, au-dessous de ce niveau.

Sur cet enrochement, laissé dans l'état où la mer l'avait mis, on a commencé par bâtir une couche de maçonnerie, dite d'arasement, dont la surface a été établie à environ $0^m,70$ au-dessus des basses mers de vive eau.

On a entrepris sa construction par le côté sud de l'enrochement, côté qui était le plus élevé et le seul où les embarcations apportant les matériaux et les ouvriers pouvaient aborder sans danger.

On a d'abord essayé d'aplanir les irrégularités de l'enrochement avec du béton versé dans les cavités; mais étant trop peu épais, délayé en dessus par le choc des vagues, en dessous par le siphonnement, il ne faisait bonne prise que lorsque la mer était tranquille pendant plusieurs jours. On a donc dû abandonner ce moyen.

---

(1) Au moment où on imprime ces pages (novembre 1843) j'apprends qu'un des derniers blocs coulés dans cette campagne sur l'enrochement de Boyard a été déplacé par la mer et poussé à deux mètres environ dans le sud-est.

On s'est décidé à n'opérer que par petites portions, en divisant le travail par cases de 12 à 16 mètres superficiels (*fig.* 71 et 73). Ces cases sont formées par des murs en moellon avec mortier de ciment hydraulique (Pouilly, Parker, Vassy, etc.) et remplies de béton composé de deux parties de pierrailles et d'une partie de mortier de chaux moyennement hydraulique et pouzzolane. Dans la suite on a mis moitié pouzzolane d'Italie et moitié sable.

Les petits murs des cases ont de $0^m,90$ à $1^m,20$ d'épaisseur selon leur hauteur, leur position par rapport à la lame, et enfin la force des vagues au moment de leur exécution. Plusieurs murs faits à l'avance, car souvent les cases n'ont été remplies qu'aux marées suivantes, ont toujours bien résisté à la mer avec les épaisseurs susdites.

Aussitôt après le remplissage d'une case, on la recouvrait d'une tranche de moellons plats posés avec mortier de ciment, ou quand le temps pressait, d'une couche générale d'environ huit centimètres d'épaisseur de béton de ciment hydraulique, lequel faisant prise immédiatement, préservait le béton de pouzzolane de la première action de la mer.

Toutefois, il est arrivé à quelques cases d'être délavées en dessous par siphonnement.

Le système que je viens de décrire consistait à ne jamais entreprendre qu'une portion de maçonnerie ou de bétonnage qui, pouvant être achevée et recouverte sur-le-champ d'une enveloppe durcissant dans l'intervalle d'une seule marée, était préservée de l'action de la mer montante. Sous la protection de cette mince enveloppe, les bétons acquéraient la dureté convenable ; tout le succès de ce procédé est donc fondé sur le prompt endurcissement des ciments hydrauliques.

Une difficulté s'est rencontrée dans les fondations des petits murs, quand ils devaient porter sur les parties inférieures de l'enrochement au-dessous des basses mers de vive eau. Elle a été surmontée avec un succès complet par le moyen suivant. Des sacs de toile claire *s s s*, remplis aux deux tiers de béton de pouzzolane d'Italie, étaient jetés et placés les uns sur les autres le mieux possible dans les enfoncements de l'enrochement jusqu'au niveau de l'eau, et c'était sur eux qu'on établissait les petits murs. Il fallait que la toile fût assez forte pour permettre le transport des sacs pleins, et assez claire pour que la transsudation du mortier permît la soudure et l'union des sacs ; au bout de quelque temps, la toile a presque disparu, et tous les sacs ne forment plus qu'une masse compacte de béton. La capacité de ces sacs doit être telle qu'un ouvrier puisse les mouvoir et les placer avec facilité.

La maçonnerie du socle est élevée à deux mètres en retraite des bords de la couche d'arasement. Elle est parementée en grosses pierres de taille en granit, appareillées en carreaux et boutisses ayant en dimension depuis $0^m,70$ jusqu'à $2^m,00$ sur $0^m,58$ de hauteur. On les pose avec mortier de ciment hydraulique. L'intérieur de chaque assise est divisé en cases, que l'on remplit de béton comme pour la couche d'arasement ; mais les cases sont plus grandes, et d'autant plus qu'on s'élève, puisqu'on a plus de temps pour les remplir.

La figure 71 représente en plan les diverses assises des maçonneries, et la figure 73 en est le profil transversal.

CHAPITRE XI.

DES JETÉES.

Des jetées.

Les jetées remplissent une partie du but des môles, mais sont plus particulièrement destinées à former l'*entrée* ou le *chenal* des ports de l'Océan, à les garantir de l'action des vagues, à diriger les chasses, à haler les navires et à favoriser leur entrée et leur sortie.

Les jetées d'un grand nombre de ports n'ont pas une direction justifiée par les considérations qui régleraient aujourd'hui leur établissement. Leur forme actuelle vient d'ouvrages antérieurs ajoutés les uns après les autres dans la direction du chenal primitif; l'ensemble de ces travaux successifs donne aux jetées une disposition qui diffère beaucoup de ce qu'elle serait, si on les construisait d'un seul jet.

Ce qui détermine leur direction, leur forme, etc.

La position, la direction, la forme des jetées dépendent des vents régnants, des courants, de la direction des lames, de la marche des alluvions littorales, de la position des côtes adjacentes, etc.; il y a peu de constructions maritimes moins susceptibles de préceptes généraux et plus soumises à l'influence des localités : aussi n'est-il pas étonnant de voir tant de variétés dans les motifs présentés par les ingénieurs à l'appui de leurs projets; c'est un des sujets les plus controversés.

Ajoutons que l'application récente des bateaux à vapeur au remorquage des bâtiments qui arrivent ou qui partent donne un nouvel aspect à un des côtés de la question, et en atténue l'importance.

Provoquent-elles des atterrissements?

Les jetées provoquent-elles les atterrissements sur la partie de la côte à laquelle elles sont attachées? Comment croire qu'il n'en soit point ainsi, quand on voit ce qui se passe à beaucoup de jetées.

Exemple à Dunkerque,

A Dunkerque, nous voyons par les plans que nous a transmis Belidor que de 960 à 1658 la partie courbe du chenal de Dunkerque, autrement dit le port, était située dans le renfoncement d'une crique peu en dedans de la côte; en 1677 on construit les jetées *a b*, *c d* (*fig.* 194); elles sont achevées en 1683. Par un plan de Vauban,

daté de 1694, et qui existe au dépôt des fortifications, on voit déjà l'estran former un promontoire dont les jetées sont le cap, et qui faisait sur l'ancien estran *e f* une saillie de plus de 300 mètres. En 1733, d'après un plan de la guerre, on voit que la côte a suivi l'avancement provoqué par les jetées qui, quoique détruites par suite du traité de 1712, formaient toujours un bourelet provenant des matériaux de démolition. Sur la fin du dernier siècle on restaure tant bien que mal le relief des jetées, nouvel atterrissement contre les jetées constaté par les cartes de la marine de 1802; de 1822 à 1845 on rétablit les jetées et on les prolonge jusqu'en *m n*, nouvelle saillie adjacente à la jetée ouest et avancement de la côte qui suit la saillie.

A Mardik, les jetées ayant été démolies peu après 1712, la partie restante des fondations donne naissance à deux forts atterrissements *g h* (*fig.* 194) dont Bélidor nous a transmis le plan, et dont la saillie était d'environ 300 mètres, mais seulement près des têtes des jetées. Bélidor dit que l'établissement et la prolongation des jetées ont beaucoup contribué à l'exhaussement des sables de l'estran. à Mardik.

A Ostende, les jetées ont été prolongées à plusieurs reprises, et l'estran les a toujours suivies; encore aujourd'hui il est en progrès et s'approche continuellement des musoirs. Les sables étant sur le point d'envahir le chenal, en passant à travers la jetée de l'est, on a été obligé de l'encoffrer en fascinages pour les arrêter complétement; mais du côté de la jetée de l'ouest ils arrivent en grande quantité et menacent de combler tout l'espace entre cette jetée et la ville qui formait autrefois l'ancien port. à Ostende.

Au Havre, l'inspection des plans anciens et l'histoire de la jetée du nord apprennent qu'au fur et à mesure qu'on prolongeait cet ouvrage le galet la suivait, et que la côte au nord s'avançait à la suite; de sorte que cette partie du rivage est maintenant à 250 mètres à peu près de la ligne où elle était il y a deux siècles. au Havre.

A Dieppe, un plan de 1600 (*fig.* 79) fait voir la plage de galet, au nord de la ville, avancée jusqu'à la jetée de ce temps. La jetée de l'ouest ayant été déplacée et poussée plus au large, un plan de 1700 apprend que la côte adjacente s'était déjà avancée à cette époque d'environ 60 mètres; plus tard, en 1780, cette même jetée ayant encore été prolongée jusqu'en *b*, le plan de 1780 fait voir que la côte s'est encore avancée dans le nord de 80 mètres. On y voit de même que la côte de l'est du chenal s'est aussi portée dans le nord; enfin, actuellement (1841), l'avancement de la côte sur celle de 1780 près des jetées est d'environ 100 mètres à gauche du chenal et de 70 mètres à droite. En définitive, la côte, aujourd'hui, est d'environ 250 mètres plus avancée au large près des jetées qu'en 1600, bien que la falaise à l'est du port ait toujours reculé par la corrosion de la haute mer. à Dieppe.

On peut dire que le fait le plus saillant de l'historique de toutes les jetées est leur allongement progressif, et bien que cet allongement ait souvent pour but d'augmenter la profondeur du chenal en prolongeant l'effet des chasses, on ne peut nier qu'il n'indique aussi que les atterrissements suivant les jetées ont forcé à les porter plus au large. Les jetées presque toujours allongées.

Il résulte de ces exemples, et d'autres que j'aurais pu citer, que la partie de la côte

où ont été établies les jetées d'un port a généralement avancé dans la mer, et que cette portion de côte qui dans l'origine était le plus souvent un chenal, une crique, une partie rentrante dans le fond de laquelle était situé le port, devient au contraire un petit promontoire dont les jetées occupent le sommet.

Je devais d'abord constater ce fait; mais il n'était pas difficile de le prévoir, il est conforme aux notions que nous avons sur la formation des atterrissements par les courants.

Atterrissements à l'enracinement faciles à prévoir.

En effet, les courants littoraux qui règnent généralement autour des jetées entraînent les vases et les sables tenus en suspension par l'agitation de la mer. La saillie brusque des jetées détermine des tournants, des contre-courants, des remous dont nous avons cité de nombreux exemples. Il y a donc dans l'angle compris entre les jetées et le rivage des parties où l'eau est presque sans courant et souvent sans agitation, deux causes suffisantes pour le dépôt du sable et de la vase; quant au galet, qui suit une marche qui lui est propre, nous avons vu qu'il s'arrêtait dans les angles des parties saillantes, finissait par les combler et passait outre.

Exception à Calais,

Toutefois, il y a des ports où l'influence des jetées sur l'avancement de la côte n'est pas sensible. Ainsi, à Calais, si l'on examine la figure 163, qui fait voir la longueur des jetées à diverses époques, et la position contemporaine de la côte que j'ai relevée sur des plans authentiques de Vauban, on sera fort embarrassé de dire si le prolongement des jetées a eu une influence bien déterminée sur le gisement de la côte qui, tantôt a avancé, tantôt a reculé.

à Bayonne.

Les jetées de l'embouchure de l'Adour, planche 25, présentent un résultat analogue.

Les jetées assimilées aux épis.

Les jetées produiraient l'effet des épis, s'il n'existait qu'un courant littoral, mais celui qui entre et sort incessamment du chenal entre les jetées empêche qu'il y ait similitude. Aussi, bien qu'on remarque un résultat semblable, en ce qui regarde l'ensablement sur la face extérieure d'une jetée frappée par le courant principal, on observe aussi un effet dissemblable en ce que les têtes des jetées ne sont qu'accidentellement affouillées profondément, tandis que celles des épis de rivière le sont presque toujours. Les jetées ne sont affouillées qu'après les coups de vent : le courant de jusant dans le chenal et les chasses tendent à combler l'affouillement.

Toutefois, il faut reconnaître qu'une partie des atterrissements qui environnent la tête des jetées en dehors du chenal est due aux chasses; mais ceux qui ont lieu près de l'enracinement sont uniquement l'effet des jetées.

Encombrement du chenal entre les jetées.

Les sables soulevés par les vagues, et qui poussés par les courants littoraux dépassent l'extrémité des jetées, entrent dans le chenal à mer montante. Les parties les plus grosses se déposent contre la tête intérieurement, d'autres pénètrent plus avant, et le fond du chenal serait bien exhaussé près de l'entrée si le sable n'était repoussé au moyen des chasses. Le galet se comporte à peu près de même et exige des chasses plus puissantes; nous parlerons plus loin de ce moyen d'entretenir la profondeur de l'entrée des ports et de la disposition des jetées sous ce rapport. Occupons-nous d'abord de celle qui est relative à l'entrée et à la sortie des navires.

Direction des jetées avec les vents régnants.

Quelle direction doit-on donner aux jetées par rapport au vent régnant? Cette question est du ressort des marins, et dépend de la position particulière du port par rapport à la rade, aux écueils voisins, etc. En général, cette direction fait, avec celle des vents dominants, un angle de 0° à 70°, il peut même aller jusqu'à 90°. Ainsi, dans le projet d'une nouvelle passe à Dieppe, Cessart et Lamblardie la proposaient nord un quart est, c'est-à-dire perpendiculaire aux vents régnants qui sont ceux de l'ouest, et d'après ce que rapportent ces ingénieurs, les capitaines de navires du port approuvaient cette orientation.

Il en était de même pour une nouvelle entrée du port du Havre, que Cessart proposait sud-est, quoique les vents régnants soient ceux de l'ouest, nouvelle direction à laquelle les officiers de la marine royale ne voyaient aucun inconvénient.

La planche 11 fait voir la direction des jetées et des vents régnants de seize ports de l'Océan.

Dans celle des vents les plus forts. Inconvénients.

Lorsque les jetées sont dans la direction même des vents les plus forts, il en résulte plusieurs inconvénients.

1° Les lames qui, en général, marchent dans le sens du vent, arrivent directement jusque dans le port ou dans l'avant-port et en rendent la tenue fatigante.

2° Les bâtiments entrant dans le chenal vent arrière, peuvent ne pas trouver assez d'espace dans la longueur du chenal pour user leur aire et éprouvent des avaries.

3° Le halage jusqu'à la tête des jetées et l'appareillage pour sortir par ces vents sont souvent très-difficiles et même impossibles.

Ces défauts existent aux ports du Havre, de Fécamp, au port de commerce de Cherbourg, etc. Toutefois, une direction des jetées très-approchée de celle des vents régnants, est quelquefois la meilleure; nous en avons un exemple dans les jetées de Bayonne, à l'embouchure de l'Adour; l'entrée de la rivière est précédée au large d'une barre dont la passe est presque dans la direction des vents dominants, les navires n'osent guère franchir cet obstacle que vent arrière ou grand largue, il s'ensuit que le chenal des jetées qui, pour la sûreté de l'entrée, devait se trouver dans la direction de la lame et de la passe, est presque dans la direction du vent régnant, et que ces jetées ne font avec ce vent qu'un angle de 12° environ. Cette orientation est celle qui convient le mieux de l'avis unanime des marins.

Dans d'autres circonstances, on a cherché à soustraire autant que possible de la houle le chenal des jetées, et on a conseillé la direction des vents les plus rares. Ainsi, dans les questions agitées en 1780 sur les nouvelles jetées à établir au Havre, les pilotes demandèrent qu'elles fussent orientées ouest-sud-ouest, parce que les vents ne se fixaient jamais plus d'une heure dans cette direction.

Leur longueur

La longueur des jetées est ordinairement réglée par celle de l'estran. Ce n'est pas que, pour l'entrée et la sortie des navires, il n'y eût avantage à les porter plus au large, car les bâtiments seraient plus éloignés des dangers de la côte, soit qu'ils manquassent l'entrée, soit qu'ils voulussent appareiller pour sortir; mais le prolongement

des jetées au delà de la laisse de basse mer rendrait leur construction très-coûteuse; en second lieu, il serait possible qu'on atténuât l'effet des chasses en augmentant trop la longueur du chenal.

inégale.

En général, la jetée immédiatement sous le vent dominant est plus longue que l'autre, afin que par ces vents, généralement peu favorables à la sortie, les bâtiments qui se font haler jusque près la tête de la longue jetée, puissent appareiller sans tomber sur l'autre : car n'ayant encore de vitesse au commencement de leur première bordée que celle qu'ils ont pu acquérir par le halage, ils gouvernent mal, dérivent beaucoup, et viendraient heurter l'autre jetée, si celle-ci était aussi longue.

La jetée sous le vent ordinairement plus longue.

Relativement aux navires entrants, il est encore bon que la jetée sous le vent soit plus longue, afin que ceux qui manquent l'entrée ne tombent pas de suite sur l'autre jetée et aient le temps de la dépasser sans toucher le musoir.

Eu égard aux courants, si leur direction coupe celle des jetées, Belidor conseille de faire celle d'amont plus courte que l'autre, afin que l'eau venant frapper la partie excédante de la jetée d'aval, y produise une espèce *d'équilibre* dont les navires entrants profiteront pour se diriger plus facilement dans le chenal. Il me semble que par la disposition contraire on atteindrait le même but; car dans ces deux cas, il se fera à l'entrée du chenal un remous dans lequel les navires seront hors de l'action du courant; mais puisqu'il y a d'autres raisons, fondées sur la direction des vents dominants, pour allonger la jetée de ce côté plus que l'autre, je pense que cette dernière considération doit prévaloir.

Nous disons qu'en général la jetée immédiatement sous le vent est plus longue, car il y a des exceptions; par exemple, au port de commerce de Cherbourg (*fig.* 124), elle est au contraire beaucoup plus courte, et en voici les motifs.

Exception à Cherbourg.

Pour le commerce, Cherbourg est principalement port de refuge; sur 1,500 bâtiments qui y arrivent annuellement, il y en a à peine 500 qui y laissent leur cargaison; près de 1,200 navires y relâchent dans les gros temps qui ont presque toujours lieu par les vents de la partie de l'ouest. Les bâtiments qui entrent dans la Manche sont moins contrariés par ces vents que ceux qui en sortent, et ils peuvent ou continuer leur route, ou relâcher dans d'autres ports plus à l'est; ce sont donc principalement ceux qui veulent sortir de la Manche qui sont en relâche à Cherbourg. Dès que les vents passent à l'est et leur permettent de continuer leur route, ils s'empressent d'en profiter. Car les vents régnants à Cherbourg sont ouest; aussi voit-on quelquefois 60 à 80 navires partir dans la même marée par les vents de l'est.

Ils ne se font haler sur la jetée de l'est que juste au point où ils peuvent appareiller sans se jeter sur les rochers de l'ouest; ce point dépend de la force et de la marche des navires; un grand nombre appareille donc à la fois, ce qui exige que la jetée de l'est dépasse beaucoup celle de l'ouest.

Leur forme en plan.

La forme des jetées en plan paraît devoir être deux lignes courbes tournant leur convexité du côté où viennent les alluvions, ainsi qu'on le voit dans les jetées dernièrement construites à Boulogne (*fig.* 115). Par cette disposition, le courant des chasses

acquiert une certaine force centrifuge qui le pousse contre le dépôt formé ordinairement sur la face intérieure de la tête de la jetée sous le courant des alluvions.

Il en résulte aussi que l'intérieur du port est soustrait à l'action immédiate des vents du large de quelque direction qu'ils viennent.

Mais cette forme s'oppose-t-elle bien à la transmission des lames? Quelques exemples apprennent que lorsque les digues ou les môles en maçonnerie offrent des parements courbes bien dégauchis, les lames changeant insensiblement de direction, arrivent jusqu'à la naissance du chenal et dans le fond du port, sans avoir perdu de leur force. J'en ai cité un exemple remarquable au port de la Ciotat, page 14.

Cet inconvénient des surfaces courbes maçonnées paraît avoir été connu des anciens constructeurs. Car on peut remarquer que les vieux môles des ports de la Méditerranée ont tous une forme polygonale, et il semble qu'on ait évité soigneusement de raccorder les alignements par des courbes.

D'un autre côté, lorsque les faces intérieures des jetées sont planes et polygonales, on sait que les vagues qui les frappent peuvent se réfléchir d'une jetée à l'autre, comme cela a lieu au Havre, ce qui fatigue les navires, les empêche de gouverner et de se maintenir dans la direction qu'ils doivent suivre. Il est donc bien difficile d'indiquer un précepte à cet égard.

La largeur qu'on donne ordinairement au chenal, c'est-à-dire l'intervalle entre les jetées, est celle de trois navires sous voile; bien qu'il soit très-rare que cette rencontre puisse avoir lieu, attendu que les navires longeant les jetées trouveraient difficilement assez d'eau sur les côtés du chenal, et risqueraient d'être endommagés par les parties saillantes des jetées, surtout lorsqu'elles sont en charpente. Cette largeur varie selon la force des bâtiments et la puissance des chasses de trente à cent mètres. Ordinairement elle est plus grande entre les têtes des jetées que vers le port. Cet élargissement est justifié quand on réfléchit qu'à l'embouquement les navires ont besoin de plus d'espace pour évoluer, soit en entrant, soit en sortant; cependant il serait avantageux de resserrer la section pour augmenter la vitesse des chasses, et conséquemment leur action sur le fond.

Leur distance entre elles,

plus grande à l'entrée.

Une considération nouvelle milite aujourd'hui en faveur d'un plus grand écartement des jetées : c'est le mouvement des bateaux à vapeur qui étant très-longs occupent à eux seuls tout le chenal lorsqu'ils sont forcés de s'y présenter de biais, et qui dans ce cas n'ont pas toujours la facilité de manœuvrer convenablement.

Voici approximativement l'écartement des jetées de plusieurs ports :

Hellevoet-Slhuys.	33m	(port militaire).	
Flessingue (anciennes jetées). .	130	*id.*	
Ostende.	60		
Dunkerque.	72		
Gravelines.	80		
Calais	100		
Boulogne	70		
Le Tréport.	40	*id.*	en tête 55

Dieppe	45	(port militaire).	en tête	65
Saint-Valery	45	*id.*	en tête	35
Fécamp	45	*id.*	en tête	67
Le Havre	45	*id.*	en tête	65
Honfleur	80	*id.*	en tête	50
Caen	40			
Courseuil	30			
Cherbourg	50			
Les Sables	80	*id.*	en tête	130
Bayonne	280	*id.*	en tête	130
Agde	100			

Leur hauteur.

La hauteur de la plate-forme des jetées doit être telle qu'on puisse y passer facilement, sans être trop incommodé des vagues ordinaires, c'est-à-dire environ 2 mètres à 2^{m},50 au-dessus des hautes mers de vive eau. Les musoirs, où l'on fait les manœuvres qui assurent le salut des navires entrants pendant les tempêtes, et où les coups de mer sont plus violents, doivent être encore plus élevés.

Cette augmentation de hauteur s'obtient par une pente répartie sur toute la longueur de la jetée, comme cela a lieu aux nouvelles jetées de Boulogne et de Calais, ou par plusieurs niveaux successifs comme dans les jetées d'Ostende et de Dunkerque; mais le plus souvent les musoirs seuls sont plus élevés, et la différence de niveau est rachetée par des escaliers comme au Havre, à Cherbourg, à Dieppe, etc.

Élévation des plates-formes de quelques jetées au-dessus des vives eaux ordinaires.

Ostende	1^{m},70	musoir	3^{m},00
Dunkerque, prolongement 1829	2 ,10		
Id. prolongement 1837	3 ,20		
Calais, jetée ancienne	1 ,60		
Id. jetée nouvelle	1 ,90	*id.*	3 ,00
Boulogne, jetée de l'ouest	1 ,60	*id.*	2 ,70
Dieppe, *id.*	3 ,80	*id.*	4 ,30
Le Havre, jetée du nord	3 ,00	*id.*	3 ,50
Honfleur	2 ,00	*id.*	2 ,60
Cherbourg	2 ,00	*id.*	2 ,80
Les Sables d'Olonne	2 ,00	*id.*	2 ,00

Largeur du couronnement. Musoir des jetées.

Une largeur de 2 à 5 mètres au couronnement est suffisante pour le corps des jetées; les musoirs, c'est-à-dire les parties arrondies qui les terminent doivent avoir 8 à 12 mètres : 1° parce que c'est ordinairement sur les musoirs que se font les manœuvres les plus importantes pour la sûreté des navires; 2° parce que l'extrémité d'une jetée ayant moins de force pour résister aux vagues qui la prendraient par le travers, il convient d'augmenter son empatement dans ce sens; 3° parce qu'on y établit souvent des feux et des batteries.

Largeur dans œuvre de quelques jetées en maçonnerie au couronnement.

Fécamp (1836)	3^{m},20		
Dieppe, jetée de l'ouest	8 ,00	musoir	12^{m},00
Le Havre, jetée du nord	5 ,50	*id.*	5 ,50
Id. jetée du sud	8 ,30	*id.*	8 ,30
Honfleur, jetée de l'ouest	4 ,50		
Cherbourg, jetée de l'est	5 ,30	*id.*	8 ,40
Les Sables-d'Olonne	7 ,30	*id.*	15 ,00

Largeur des planchers de quelques jetées en charpente :

Ostende.	1m,50		
Calais (anciennes) . . . . . . 2 à	2 ,30		
Id. nouvelles.	2 ,00	musoir projeté	16m,30
Dunkerque, prolongement 1829. .	2 ,50		
Id. *id.* 1837. .	2 ,75	musoir projeté	5 ,65
Id. estacade.	1 ,75		
Boulogne, sud-ouest.	3 ,50	musoir	12 ,00
Id. nord-est.	2 ,40	*id.*	6 ,00

CHAPITRE XII.

CONSTRUCTION DES JETÉES.

Les jetées se construisent en charpente, en maçonnerie, en simple enrochement et quelquefois en fascinage.

Jetées en charpente.

Les jetées de charpente sont à claire-voie ou en encoffrement. Les fig. 134, 139, 140, 146, 147 et 149 font voir des jetées à claire-voie; les fig. 141, 143 et 144 sont des jetées en encoffrement.

L'encoffrement n'existe quelquefois que dans la partie basse, comme dans la fig. 150, et dans ce dernier cas il est encore remplacé par un enrochement avec pavé comme dans la fig. 145.

En général, la partie basse des jetées de charpente est un massif qui s'élève plus ou moins et qui est en fascinage ou en enrochement, et même formé de ces deux matériaux; il s'étend en talus à l'intérieur et à l'extérieur, et forme risberme défensive au pied des jetées.

Leur construction.

Les jetées en charpente sont composées de fermes de hautes et basses palées, à deux et trois mètres d'intervalle, et d'autant plus rapprochées que la mer est plus profonde et plus grosse. Chaque ferme présente la forme d'un trapèze dont les parties inclinées sont les faces du chenal et du large; le talus varie depuis $^1/_5$ jusqu'à $^1/_7$. Une ferme se compose de deux ou trois poteaux réunis par trois ou quatre doubles moises horizontales; des jambes de force simple, et embrassées par les moises, forment système triangulaire avec les poteaux. Les fermes sont liées entre elles par des cours de ventrières, de liernes et de moises boulonnées.

Toutes les pièces s'assemblent par embrèvement seulement et avec boulons à vis ou à clavettes; car l'expérience a appris depuis longtemps que le frottement des bois les uns contre les autres, par suite de l'ébranlement continuel des vagues, usait les assemblages au point de faire ballotter les tenons dans les mortaises sans qu'on pût remédier

à ce jeu, tandis que les embrèvements et les boulons peuvent être resserrés à volonté, et offrent de plus une grande facilité pour remplacer les pièces.

L'équarissage des pieux varie de $0^m,25$ à $0^m,35$; les bois sont goudronnés sur toutes les faces.

Les moises supérieures soutiennent des poutrelles recouvertes d'un plancher de madriers de dix à douze centimètres d'épaisseur, avec intervalles entre eux de deux à trois centimètres pour laisser écouler l'eau de la mer qui les inonde dans les gros temps. Les figures 135, 136 donnent les détails du plancher de la jetée d'Ostende, et la fig. 138 *bis* ceux de la nouvelle jetée de Dunkerque.

Les encoffrements sont formés par des madriers jointifs horizontaux, appuyés intérieurement ou extérieurement contre les poteaux. Le coffre est rempli en pierres sèches, galets, sable, terre, etc., etc. Encoffrement.

La position intérieure ou extérieure des bordages paraît indifférente quant à la solidité; car si les bordages intérieurs résistent mieux à la poussée du remplissage, les autres soutiennent mieux les chocs des vagues. Mais les bordages extérieurs sont d'une réparation très-facile, et forment une surface lisse et continue contre laquelle les navires glissent sans se déchirer; c'est précisément le contraire pour les bordages intérieurs qu'il est difficile de renouveler et sur lesquels les poteaux forment autant de saillies.

En général, on doit éviter les saillies des bois ou des ferrures sur la face du chenal contre laquelle viennent heurter les navires, et quelquefois on ajoute des fourrures pour préserver les poteaux du frottement réitéré des petits bâtiments (jetées de Boulogne).

Les travaux des jetées de charpente se conduisent ainsi : on bat les pieux de basses palées *i i i* (*fig.* 133 et 134) qui ont $0^m,32$ à $0^m,35$ de grosseur et de 3 à 4 mètres de fiche. On pose les ventrières intérieures *m m*. On relève exactement la position des têtes des pieux battus, et on construit les fermes sur la côte; celles-ci, tout assemblées avec les hautes moises *z z*, sont mises à l'eau et transportées à mer haute à l'extrémité de la jetée déjà commencée. Une espèce de chèvre *k* portant les apparaux nécessaires, et cheminant en surplomb sur la portion déjà faite de la jetée, sert à suspendre la ferme; on procède au levage dès que la mer basse le permet, et on achève de tailler et de poser les basses moises *b b*. Marche des travaux.

Ce procédé expéditif de levage a été employé pour la première fois, je crois, à la nouvelle jetée nord-est de Boulogne, et je l'ai vu appliquer en 1837 au prolongement des jetées de Dunkerque (*fig.* 147). On levait une ferme par jour; à la rigueur, on aurait pu en poser une par marée.

Ce système de basses et hautes palées donne plus de rapidité aux travaux, et plus de régularité à la construction que celui dans lequel on emploie des pieux d'une seule pièce pour atteindre le plancher. Le battage et l'alignement de ces grands pieux sont difficiles; toutes les pièces qui s'y assemblent dans le bas ne peuvent être taillées qu'à Avantage des basses palées.

marée basse, et quant à la solidité, il y a peu à gagner, parce qu'au bout de quelque temps, la détérioration inévitable des bois qui couvrent et découvrent, et les vers, dont le mailletage ne préserve pas complétement, mettent dans la nécessité de faire l'enture de ces pieux pour remplacer les parties ruinées à un certain niveau.

De l'effet du ressac pendant la construction.

Il y a, à l'égard du battage des pieux des jetées, une observation importante à faire. L'expérience apprend que les pieux battus dans le sable de l'estran sont plus ou moins promptement déchaussés par le choc des lames. Le ressac agit sur le fond, et produit autour de chaque pieu un affouillement conique dont le pieu occupe le centre; ces cônes, dont la profondeur peut aller jusqu'à $0^m,60$ à $0^m,80$ dans une seule marée, se réunissent, s'approfondissent, et des pieux de 3 à 4 mètres de fiche peuvent être en partie déchaussés.

Moyen pour y remédier.

Pour remédier à cet inconvénient, on peut faire suivre le battage immédiatement par un enrochement, ou le faire précéder par des radeaux de fascinage chargés de moellons et échoués dans l'empatement de la jetée.

J'ai vu employer aux jetées de Dunkerque des radeaux de fascinage $x\ x$ (*fig.* 153 et 154) qui avaient 11 mètres de longueur dans le sens perpendiculaire à la jetée et 8 mètres de largeur; leur épaisseur variait de $0^m,60$ à 1 mètre. Les piquets des clayons qui les traversaient faisaient d'abord saillie en dessus. On échouait les radeaux avec des blocailles, alors on enfonçait les piquets. Ensuite on battait les pieux qui perçaient les radeaux et les retenaient complétement.

Avantages et inconvénients des jetées en charpente.

Les avantages des jetées en charpente sont de rompre la lame en partie sans la transmettre dans l'intérieur du port, et d'être d'une construction prompte et généralement économique.

Leurs inconvénients sont d'exiger un entretien très-coûteux, de ne point garantir totalement les navires des vagues, ni des courants en travers du chenal qui quelquefois gênent beaucoup la navigation. Ainsi à Calais, où au moment du plein il règne un grand courant de flot portant à l'est qui passe à travers les jetées à claire-voie, les bâtiments sont poussés contre celle de l'est, où ils éprouvent des avaries quand les vents d'ouest soufflent avec force. C'est en partie pour diminuer ce danger qu'on va relever le massif $m\ m\ m$ de la jetée de l'ouest (*fig.* 139) jusqu'à la haute mer de morte eau suivant $a\ b\ c\ d$.

Jetées en maçonnerie

Les jetées en maçonnerie sont formées d'un massif en moellons ou libage avec deux parements en pierre de taille (*fig.* 165, 167, 189), ou quelquefois, par économie, de deux murs réunis par des contre-forts intérieurs formant des cases remplies en sable ou en gravier et terre grasse (*fig.* 56, 57, 63, 64). Le fruit des parements varie de $1/4$ à $1/8$.

Les contre-forts ou murs de refend qui lient et soutiennent les deux grands murs sont espacés de 5 à 14 mètres d'axe en axe. Ils ont de 2 à 3 mètres dans le sens de la longueur de la jetée.

L'épaisseur des deux murs principaux ne doit pas être calculée sur le principe des

murs de soutènement ordinaires ; les mouvements des vagues les placent dans des circonstances exceptionnelles, et on a vu des murs d'une construction récente qui, pendant de fortes tempêtes, avaient cédé à la pression des terres à laquelle ils avaient résisté en temps ordinaire.

Le remplissage doit être couvert d'un dallage maçonné en dos d'âne rejetant au dehors l'eau que la mer y a lancée.

On doit employer dans les parements les pierres les plus dures et des plus fortes dimensions. Il faut les goujonner en lits et en joints. La figure 190 donne un exemple de cette liaison.

Quelquefois, comme à Sunderland, on a retenu les pierres par des poteaux verticaux fortement goujonnés dans des rainures. Par cette disposition, il n'y a que les pierres sous le même poteau qui résistent ensemble, mais si une autre est enlevée, les dégâts de la mer se bornent à une case entre deux poteaux, et sont plus facilement réparés.

Les précautions dont nous venons de parler pour les pierres de parement sont surtout indispensables pour celles des parapets qui doivent être solidaires entre elles. On aura un exemple de l'appareil qu'on peut employer à cet effet dans les figures 43, 44 et 45, relatives au parapet des môles du port militaire de Cherbourg.

Dans les ports de la Haute-Normandie, les maçonneries basses des jetées, et surtout des musoirs, sont exposées à une attaque toute particulière, c'est le frottement du galet qui va et vient à leur pied, et qui use les parements. J'ai vu la jetée ouest de Saint-Valery-en-Caux fortement endommagée par cette cause ; il y avait des cannelures où l'on pouvait passer le bras. exposées au frottement du galet.

Lors donc que le pied des jetées sera exposé au frottement des galets, on devra le revêtir de madriers verticaux jointifs de $0^m,06$ à $0^m,10$ d'épaisseur, bien cloués sur des ventrières horizontales noyées et fixées dans la maçonnerie par des boulons. Ce revêtement de garde résiste mieux que la pierre ordinaire, et peut d'ailleurs se renouveler (*fig.* 189).

Cessart dit qu'il a vu des parements de fondations usés par le frottement des galets jusqu'à $0^m,40$ de profondeur, que le bois résiste à cette action dix fois plus que la pierre calcaire, et que si on ne veut pas l'employer il faut remplacer la pierre calcaire par du granit. Ce dernier moyen paraît bien préférable à d'autres constructeurs, parce que les revêtements en bois nécessitent, quand on les remplace, de nouvelles ferrures, lesquelles finissent par détruire les pierres dans lesquelles on doit les sceller.

Les jetées de maçonneries doivent être fondées solidement sur massif de béton, ou sur plate-forme pilotée, avec enceinte de palplanches et même avec risberme, si le terrain est affouillable. Fondations.

C'est surtout à la tête des jetées que ces risbermes sont utiles pour empêcher les effets du ressac. Elles doivent être fondées le plus bas possible ; leur couronnement doit être courbe ou en talus pour rejeter au large les vagues qui y retombent. C'est dans ce but qu'on a établi le musoir de la jetée d'Aberdeen dans le même système que les Risbermes au pied.

môles arrondis à pente douce, c'est-à-dire en grosses pierres formant une surface courbe unie, convexe dans la partie inférieure, concave au-dessus des hautes mers et occupant une base de 2 1/2 sur un de hauteur.

Si la tête des jetées est poussée fort au large, et que le fond soit beaucoup au-dessous des basses mers de vive eau, les fondations deviennent difficiles. En général, il est pour ainsi dire impossible de fonder par épuisement; il reste la ressource des bétons, des enrochements et des caissons.

Fondations en enrochement à Honfleur.

Les enrochements ont été employés accidentellement pour fonder le prolongement de la jetée ouest de Honfleur. Le terrain sur lequel il devait être établi était un banc de sable ferme qui, aux points les plus bas, n'était qu'à quelques décimètres au-dessous des basses mers de vive eau. En conséquence, on devait fonder par béton coulé dans un encoffrement formé de deux files de pieux jointifs, dragué convenablement.

Les pieux jointifs étaient déjà battus en grande partie, quand survint un de ces changements qui arrivent de temps à autre à l'embouchure de la Seine. Le grand courant, qui s'établit pour un temps, tantôt du côté du Ratier, tantôt du côté de la rive gauche, se jeta cette fois vers Honfleur, et creusa le fond de huit à neuf mètres. Le terrain qui devait porter la jetée, et qui était en *a a a*, s'abaissa en *m m m* (*fig.* 169). Les pieux furent déchaussés et emportés; la force du courant ôtait tout moyen de les soutenir et de les remplacer.

On se décida alors à faire un enrochement à pierres perdues pour recevoir la base de la jetée; il fut élevé jusqu'aux basses mers de vive eau ordinaire.

Les courants transportant une grande quantité de sable et de vase, les vides entre les pierres en furent bientôt remplis. La masse était si compacte qu'on pût creuser le sommet de l'enrochement jusqu'à un mètre au-dessous des basses mers de vive eau et maintenir la fouille à sec par épuisement, avant d'y couler la couche de béton qui règne sous toute la maçonnerie du prolongement (*fig.* 165).

La jetée n'a éprouvé aucun tassement. Cependant, quelque succès qu'ait eu cette fondation par enrochement, on se demande si elle présente une sécurité complète; s'il n'est pas à craindre que les tempêtes du nord-ouest ne viennent par ressac affouiller l'enrochement au pied de la digue, et s'il ne conviendrait pas de couvrir le talus du large de blocs algériens?

par caissons, à Ramsgate.

La jetée est de Ramsgate *m n* (*fig.* 129) offre un exemple de fondation par caissons dont l'assiette était préparée avec la cloche à plongeur. Ce procédé de construction fut employé en 1788 par Smeaton, et a quelque intérêt, en ce qu'il est la seconde application que cet ingénieur ait faite de la cloche à plongeur, dont il paraît être l'inventeur.

Cette jetée fut prolongée d'environ 90 mètres sur un fond de craie à deux et trois mètres au-dessous de basse mer de vive eau.

Les caissons avaient 3 mètres de largeur et environ 10 mètres de longueur dans le sens perpendiculaire à la direction de la jetée.

La cloche était un coffre de fonte ayant $1^m,35$ de hauteur et de longueur, et $0^m,90$ de largeur : elle pesait 2,300 kilogrammes ; l'air y était renouvelé avec une pompe.

L'expérience apprit que ces caisses maçonnées étaient remuées dans les tempêtes de l'est-sud-est, quand elles n'étaient pas chargées du poids des maçonneries supérieures de la jetée.

On construit aussi des jetées en enrochement, mais ce sont plutôt des brise-lames que des jetées destinées au halage des navires, et aujourd'hui on ne proposerait pas des ouvrages semblables sans les consolider par de gros blocs. Toutefois, leur solidité dépend de la grosseur des matériaux qu'on peut employer et de la force de la mer. Jetées en enrochement :

La fig. 54 fait voir le profil d'un ouvrage de ce genre établi il y a très-longtemps sur les rochers Saint-Nicolas *r b* (*fig.* 126) au port des Sables-d'Olonne, pour abriter l'entrée du chenal des vents du sud-ouest. Construit d'abord avec fermes de charpente, il a été recouvert de gros moellons maçonnés, mais ce parement est souvent emporté. Dans les parties gravement compromises on consolide cette digue par un mur central *a b c d*. aux Sables-d'Olonne,

La jetée sud-ouest de Boulogne offre un exemple de l'insuffisance des enrochements. Dans l'origine, elle avait été projetée tout en enrochement (*fig.* 142) ; elle n'était pas encore entièrement achevée que l'on vit que le sommet ne pourrait jamais résister. Les pierres étaient emportées par les fortes vagues de l'ouest et tombaient dans l'intérieur du chenal ; de sorte que le massif de la jetée aurait avancé peu à peu dans le chenal. à Boulogne.

On reconnut qu'il fallait changer le système, et une première modification a consisté à abaisser le massif d'enrochement au niveau des hautes mers et à le couronner par une charpente *a b c m n p*, fig. 143, avec madriers au pourtour formant encoffrement rempli de moellons. Mais quoique le talus de l'enrochement du large fût très-doux et qu'il fût garni d'un bon perré formé de gros matériaux, il ne put résister au ressac produit par la paroi presque verticale *a i m* de l'encoffrement ; dans les grosses mers le perré était emporté sur des longueurs de 40 à 60 mètres, et le danger des affouillements était imminent.

Alors on supprima l'encoffrement, on laissa la carcasse qui le soutenait, et on eut une jetée supérieure à claire-voie sous laquelle on continua le talus de l'enrochement dont la partie supérieure jusqu'à mi-marée fut revêtue des madriers *i t h s*.

Les courbures ou les lignes brisées des jetées pleines ne sont pas toujours suffisantes pour rompre les lames. Les vagues se propagent du large dans le port, maintenues qu'elles sont par les parois des jetées ; quand celles-ci sont en maçonnerie ou en encoffrement les vagues arrivent presque avec la même hauteur jusque dans l'intérieur du port où elles fatiguent les navires ; dans ce cas on a imaginé de faire des *claires-voies*, c'est-à-dire d'interrompre de distance en distance les jetées pleines et de les continuer dans les intervalles par des estacades en charpente ; les lames passant d'une partie étroite du chenal dans une autre plus large, s'y étendent et diminuent de hauteur. Il est bon que les portions en claires-voies des deux jetées ne se correspondent point, afin de rompre la lame obliquement à l'axe du chenal. Jetées à claire-voie.

Derrière ces ouvertures on établit des plans inclinés sur lesquels déferlent les lames comme sur la plage, et où elles usent une partie de leur force, soit en s'élevant sur le plan incliné, soit en frappant la vague précédente qui vient à leur rencontre en descendant. C'est dans ces mouvements que se perd une partie de la quantité d'action des lames.

Les estacades des claires-voies atténuent d'ailleurs une grande partie de la force des vagues en les divisant, en les dispersant, et les forçant à suivre plusieurs directions qui se combattent par leur opposition.

Si les parties vides d'une claire-voie sont trop considérables, les lames y passent trop facilement, et après avoir cheminé sur les plans inclinés, peuvent revenir librement dans le chenal et y produire une agitation et un ressac très-gênant pour les navires.

S'il y a trop de parties pleines, la lame n'est pas assez rompue et la claire-voie ne produit pas tout l'effet qu'on en attend.

Exemple à Dieppe.

Les figures 166, 167, 168, 170, 171 indiquent les dispositions de la claire-voie avec brise-lame qu'on a ménagée dans la nouvelle jetée est de Dieppe, et dont la figure 79 représente le plan général *scmnp*.

Déjà l'ancienne jetée est avait une claire-voie plus rapprochée de l'intérieur du port, afin de le préserver de l'agitation qui s'y introduisait par le chenal, et à l'entrée duquel les lames sont d'une grande violence. Prévoyant que par le prolongement *mcsa* (*fig.* 79) de cette jetée les vagues seraient conduites encore plus facilement dans l'intérieur, on n'a maçonné que le musoir *as* sur quarante mètres de longueur, et tout le reste *sm* est une estacade derrière laquelle se trouve un plan incliné pour le déferlement des lames.

On devait craindre effectivement que la forme en entonnoir *abcd* (*fig.* 170 et 79) de la nouvelle entrée, résultant de la convexité donnée au prolongement de la jetée de l'est, n'accrût la force des vagues, au fur et à mesure qu'elles s'avançaient vers l'intérieur.

La claire-voie est composée de 53 fermes *mmm* (*fig.* 166, 170, 171) espacées de trois mètres d'axe en axe. Entre deux fermes sont deux poteaux de garde. Les bois ayant $0^m,30$ d'épaisseur dans le sens du chenal, les intervalles ou les vides de la claire-voie ont $0^m,70$.

Chaque ferme est composée de deux poteaux montant embrassés par des moises horizontales. D'autres moises inclinées forment deux croix de Saint-André qui s'opposent à tout mouvement de la mer.

L'estacade a 3 mètres de largeur au tillac *nn* (*fig.* 166). Elle repose sur une jetée basse en maçonnerie, élevée jusqu'au niveau moyen de la mer. Cette partie pleine est fondée sur béton, à $1^m,50$ au-dessous des basses mers d'équinoxe, et défendue du côté du chenal par une risberme, également en béton, contenue entre deux rangs de pieux jointifs et recouverte d'un plancher.

En arrière de l'estacade se trouve un brise-lame *fg* (*fig.* 171), c'est-à-dire un plan

incliné partant du dessus du massif de la jetée, s'étendant jusqu'à 30 à 40 mètres au delà, s'élevant par une pente de 1/12 environ, et se terminant au mur d'enceinte *hi* (*fig.* 167, 171) du côté de l'est.

Ce qui est arrivé avant la construction complète de la claire-voie et de son brise-lame incliné, donne quelque enseignement sur ce genre d'ouvrage.

Lorsqu'il n'y avait encore que les fermes de l'estacade, il en résultait des effets de mer très-fâcheux. Dans les coups de vent du nord-ouest, la lame *xx* (*fig.* 168, 170) arrivait contre le musoir de la jetée de l'est, en s'élevant à une hauteur de quatre à cinq mètres; elle marchait parallèlement au chenal, puis s'étendait brusquement d'une part sur le brise-lame, jusqu'au mur d'enceinte suivant *yy*, et de l'autre contre la jetée de l'ouest suivant *zz*; là, il y avait répercussion et retour de la lame suivant *tt* et *pp*, d'où naissaient dans le chenal un ressac et un clapotage *ss* où les navires, ne pouvant plus gouverner, étaient jetés violemment contre l'estacade ou sur le poulier de la jetée de l'ouest, en risquant de se briser. Plusieurs bâtiments se sont ainsi perdus sur la fin de 1841.

Les lames, quoique déferlant sur le brise-lame, n'en revenaient pas moins sur elles-mêmes avec une grande force; d'où l'on peut inférer que le sommet du plan incliné n'était pas assez étendu, et que la vague, au lieu d'y épuiser une partie de sa force en s'élevant sur elle-même, était renvoyée par le mur d'enceinte qui était un obstacle trop rapproché.

Ces effets si dangereux pour les navires, quoique existant encore en partie dans les mêmes circonstances depuis l'achèvement de la claire-voie, ont été singulièrement atténués par les poteaux de garde lorsqu'on les a placés dans les intervalles des fermes. On pense même qu'il eût été mieux d'en mettre davantage.

L'effet de la division et de la dispersion des vagues par les claires-voies, c'est-à-dire par des obstacles percés de vides nombreux, est ici évident, et il en résulterait que des charpentes offrant à peu près un tiers de plein et deux tiers de vide donneraient des résultats satisfaisants.

Mais d'un autre côté, il faut reconnaître que plus une claire-voie pratiquée dans une jetée aura de parties pleines, et moins elle détournera les vagues de leur transmission dans l'avant-port, but qu'on se propose par l'établissement de ces ouvrages.

Ainsi, dans l'exemple que je viens de citer, quand les poteaux de garde n'étaient pas encore placés entre les fermes, la lame passait plus librement, allait frapper le mur d'enceinte, revenait encore librement et donnait lieu à ces ressacs et à ces clapotages dont nous avons parlé. Mais ces effets, dangereux pour les navires, étaient la preuve que la transmission des ondes dans l'avant-port était considérablement affaiblie. Au contraire, quand on a eu placé les poteaux de garde, la partie des vagues, qui auparavant passant dans la claire-voie allait courir sur le brise-lame, a été retenue dans le chenal par les pleins des poteaux, et y a marché par transmission vers l'avant-port, où il y a aujourd'hui un peu plus d'agitation qu'avant le prolongement de la jetée.

Éperons saillant dans les jetées.

On a quelquefois rompu la transmission des lames dans l'intérieur d'un port par des espèces d'éperons en saillie brusque sur les faces intérieures des jetées ou sur les quais des avant-ports. Mais ces ouvrages se trouvant généralement sur le chemin des navires entrant à la voile, les forcent à des manœuvres qui ne sont pas sans danger.

à Fécamp,

Ainsi, au port de Fécamp, on avait construit un éperon en maçonnerie *ab* (*fig.* 199), pour arrêter la lame se propageant jusque dans l'avant-port par les vents d'ouest, qui sont les vents régnants. Mais dans les améliorations qui ont été faites il y a quelques années à ce port, on a supprimé cet éperon, très-gênant pour l'entrée des navires, et on a établi une estacade à claire-voie *m m* avec tillac pour le halage. On pouvait présumer que cet ouvrage romprait la lame en grande partie, mais l'agitation étant encore nuisible dans l'avant-port, on va ouvrir une claire-voie dans la jetée en maçonnerie du nord *tp*. Derrière elle sera un brise-lame en plan incliné.

aux Sables-d'Olonne.

Aux Sables-d'Olonne, les vents de sud-ouest produisaient une agitation très-fatigante pour les navires dans le port, et dont nous avons déjà parlé page 15. On a rompu la transmission des lames, arrivant par le chenal, en construisant l'éperon en charpente *im* (*fig.* 126.)

Les dispositions de cet ouvrage, qui s'avance de 40 mètres sur le quai *ik*, sont représentées par les figures 137 et 138.

Les fermes sont à $1^{m},20$ d'axe en axe, et ne s'élèvent qu'à un mètre au-dessus des vives eaux ordinaires; elles sont reliées par des liernes moisantes. Chaque ferme est composée de deux pieux en grume, à $2^{m},50$ d'axe en axe, unis par trois moises, l'une horizontale et les deux autres en arc-boutant contre le choc des vagues. Cet éperon en claire-voie présente à la lame un peu plus de pleins que de vides.

Jetées basses.

On fait aussi à l'entrée des ports ce qu'on appelle des jetées basses. Ce sont des jetées dont le couronnement est au niveau des basses mers de morte eau; elles sont ordinairement en continuation de la jetée la plus courte; elles prolongent le chenal plus au large, en empêchant le courant des chasses de se disperser. Étant dépassées suffisamment par la mer haute, elles n'offrent d'écueils qu'aux navires qui auraient un grand tirant d'eau; néanmoins, cet inconvénient les a fait abandonner dans beaucoup de ports où elles étaient établies.

Ces jetées se construisent ordinairement en charpente, fascinage et brocailles.

En fascinage.

On forme d'abord un encaissement en dessous du sol de la côte pour recevoir un lit de roseaux et de glaise, sur lequel on met une couche de fascines jointives perpendiculaires à l'axe de la jetée. On les fixe par des piquets dépassant les fascines et liés par des clayons, dont les cases sont remplies de moellons. Une seconde couche de fascines jointives, perpendiculaires aux premières et recouvertes de même, forme le dessus de la jetée.

En charpente.

Si on emploie la charpente, on plante deux files de petits pieux liernés et unies par des traverses, et on remplit l'encoffrement avec des fascines, des blocailles et des piquets clayonnés.

CHAPITRE XIII.

AVANT-PORT.

Les jetées conduisent à l'avant-port. On appelle ainsi l'espace compris entre les jetées et le port ou le bassin à flot. Il reçoit les navires qui peuvent supporter l'échouage, et les petits bâtiments qui trouvent assez d'eau pour entrer et sortir à mi-marée. Avant-port.

L'avant-port est encore utile pour user la vitesse des bâtiments entrant sous voile. Il est donc bon que sa longueur, qui doit être d'environ deux à trois encâblures (600 mètres), ne soit pas dans la direction des vents dominants. Il convient qu'un avant-port soit assez large pour que les bâtiments puissent y évoluer sous voile, ce qui leur donne la facilité d'user leur *aire* en virant dans le vent. Étendue pour user l'aire des navires.

Si un navire arrivant sous voile n'est pas absolument sûr de ses manœuvres et qu'il soit exposé à manquer l'entrée, il cherche à se diriger avec le plus de précision possible. Pour qu'il ne soit pas maîtrisé par le vent, pour qu'il gouverne bien, une des principales conditions est qu'il se meuve avec une certaine vitesse. Ainsi, il ne peut s'approcher lentement du port, et ce n'est que lorsqu'il en a dépassé les abords, où la vitesse lui est indispensable, qu'il peut la diminuer; il doit donc en conserver encore une grande partie quand il atteint le fond du port; il peut d'ailleurs être obligé d'y entrer par des vents forcés, et de là les dispositions plus ou moins favorables d'un avant-port pour donner aux bâtiments la faculté d'amortir leur aire sans danger.

C'est dans ce but que dans le fond de plusieurs avant-ports, on a conservé des atterrissements qui, nuisibles aux libres mouvements des navires, deviennent cependant très-utiles à ceux qui entrent dans les circonstances dont nous venons de parler; ce sont comme des matelas sur lesquels ils peuvent se jeter pour achever d'user leur aire, sans qu'il en résulte de trop grandes avaries à leur carène; c'est ce qui a existé à Ramsgate, à Honfleur, à Calais, etc. Atterrissement conservé dans ce but.

Les quais des avant-ports et des bassins à flot ont la même destination que ceux des ports de rivière, mais les bâtiments qui les accostent ayant un tonnage plus considérable, et un autre gabarit que les bateaux de rivière, il y a deux précautions à prendre dans leur construction. Quais des avant-ports et bassins à flot.

Profil du parement.

D'abord, pour que les bâtiments puissent approcher de très-près le terre-plein du quai, il faut que le mur ait le moins de fruit possible. C'est pour satisfaire à cette condition, et à la solidité, que les Anglais donnent souvent au parement de leurs murs de quai la forme d'un arc légèrement concave du côté de l'eau, et se raccordant à une ligne verticale dans la partie supérieure (*fig.* 212-217). De plus, ils inclinent les plans des assises normalement à la courbe, de sorte que les fondations se relèvent du côté de l'eau. Cette forme présente deux avantages : 1° d'augmenter le moment de stabilité avec un moindre cube de maçonnerie; 2° de rendre les pierres de parement solidaires du haut en bas par leur forme de voussoir; mais il en résulte aussi l'inconvénient d'une plus grande sujétion dans la taille et la pose des pierres, et celui d'avoir à battre des pieux inclinés.

Longtemps avant les Anglais, les Hollandais, auxquels la maçonnerie revient si chère, avaient cherché à augmenter la stabilité de leurs quais, et à diminuer le cube des matériaux, en inclinant les deux parements du côté des terres, sur lesquelles ils surplombaient; cette disposition, qui évite les sujétions des parements concaves et des lits inclinés, s'obtient assez facilement avec la maçonnerie de briques; mais la stabilité est rarement atteinte, parce que la poussée au pied du mur se trouve augmentée par la partie du poids de la portion supérieure du mur que supportent les terres; le mur tournant vers son milieu est chassé au pied du côté de l'eau. J'ai souvent remarqué cet effet dans les murs de quai hollandais.

La forme arrondie des vaisseaux permet l'établissement d'une risberme au pied du mur de quai. On peut conserver un talus du terrain naturel, quand il est de nature à ne pas endommager la carène. C'est ainsi qu'aux bassins à flot d'Anvers (*fig.* 102 et 113) on s'est dispensé de fonder les murs de quai jusqu'au niveau du fond des bassins. On les a élevés sur le sommet d'un talus d'environ trois sur un. Le pied du mur est d'ailleurs assuré par une file de palplanches jointives. Le terrain naturel est un sable fin serré un peu argileux. Par là on a épargné vingt mille mètres cubes de maçonnerie.

Épaisseur.

L'épaisseur des murs de quai des ports d'échouage paraît devoir être réglée par les mêmes considérations que celle des bajoyers des écluses à sas, c'est-à-dire qu'étant exposés à être baignés par la mer montante deux fois par jour, l'eau qui pourrait avoir pénétré derrière eux dans le terre-plein, donne lieu à une pression d'autant plus forte, quand la mer se retire, que le massif qui retient l'eau plus ou moins, peut participer des qualités d'un fluide, et ne se tiendrait que sous un talus très-allongé. Bien que l'abaissement de la marée ne soit pas aussi prompt que la retraite de l'eau dans les sassements, l'effet est analogue et engage aux mêmes précautions. Nous avons vu (*Cours de navigation intérieure*, chap. XIV) que l'épaisseur à donner aux bajoyers des écluses était, pour les cas extrêmes, comprise entre les limites 0,28 et 0,50 de la hauteur et moyennement 0,40, ce sont aussi les proportions que nous admettrons pour les murs de quai et qui sont d'ailleurs justifiées par l'expérience.

Fondations souvent dans la vase.

Une difficulté se rencontre souvent dans la construction des murs de quai des avants-ports, c'est leur fondation dans la vase. Le fond des ports d'échouage est naturelle-

ment un atterrissement vaseux; lorsqu'il recouvre un terrain dur, qu'on puisse atteindre avec des pilots, la fondation n'a rien à redouter sous le rapport de la résistance verticale, mais il n'en est pas de même eu égard à la poussée horizontale. Quelque épaisseur que l'on donne au mur, et bien que sa base ne puisse plus s'enfoncer, si la vase au-dessous des fondations a un certain degré de mollesse, il peut arriver que, pressée par les remblais du terre-plein du quai, qu'elle n'a jamais supporté et qui rompent l'équilibre, elle pousse les pilots du côté du chenal, et les incline en les faisant tourner sur leur pointe; alors le mur avance vers le vide en s'abaissant un peu; le terre-plein s'affaisse, et le fond du chenal s'exhausse jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. Les quais de Rouen, de Bordeaux, de Lorient, de Rochefort, etc., ont éprouvé ces accidents.

Le terre-plein s'enfonce.

Les murs obéissent à la poussée horizontale.

Souvent après ces mouvements les murs de quai ne peuvent plus remplir leur destination, même en acceptant leur nouvel alignement, parce qu'il n'y a plus assez de profondeur d'eau au pied, et que le terre-plein est au-dessous du niveau du sommet.

En enlevant le gonflement dans le chenal, et en comblant l'affaissement du terre-plein par de nouveaux remblais, on s'expose à un second mouvement semblable au premier, et définitivement à un renversement complet du mur.

En pareille circonstance, on a conseillé de retenir le massif du mur par des tirants en bois ou en fer, reliés à des pieux battus en arrière du quai dans des parties du terrain supposées résistantes. Cette disposition empêche le mouvement du mur, mais non celui du terrain qui ne cesse que quand le remblai a entièrement chassé toute la vase molle sous lui, c'est-à-dire quand il en a rempli la place.

Tirants pour s'y opposer.

Les tirants en bois supportant une partie du remblai, tandis que le terrain sous eux les quitte, sont bientôt rompus, si l'on n'a pris la précaution de les soutenir de distance en distance par des pieux.

Il est rare que ce procédé réussisse, parce que les tirants et le mur ont à résister à une poussée considérable, toute différente de la pression statique ordinaire de soutenement. Dans la descente du remblai, quelque lente qu'elle soit, l'inertie de cette masse étant vaincue, elle glisse sur le plan incliné de la vase, et il en résulte une action dynamique plus puissante que la simple pression à laquelle on a proportionné les dimensions du mur.

S'il y a une profondeur de vase indéfinie, les difficultés sont presque insurmontables. On cherche d'abord à obtenir une résistance verticale, en enfonçant un grand nombre de pilots le gros bout en bas et sur le frottement desquels on compte. En second lieu, on établit en arrière du mur une plate-forme portée également sur un grand nombre de pilots, et sur laquelle on espère que le remblai du terre-plein sera soutenu sans presser la vase en dessous.

Plate-forme supportant le terre-plein.

Ce procédé exécuté pour la première fois, je crois, à Lorient sur un fond de vase indéfinie, a réussi.

Exemple à Lorient,

Il vient d'être appliqué à un quai du port de commerce de Rochefort (*fig.* 185),

à Rochefort.

mais dans des circonstances moins difficiles, le rocher se trouvant à dix mètres sous la base du mur. Voici quelques détails sur les mouvements de ce quai et sur les moyens employés pour les arrêter.

Le mur *abcd* était fondé sur des pilots qui, après avoir traversé la vase et une couche de sable vaseux, avaient trouvé le refus sur un roc parfaitement résistant. Deux ans après la construction, le terre-plein s'affaissa. Une grande fissure à neuf et quatorze mètres du parement du mur se déclara dans le terrain parallèlement au quai sur quarante à cinquante mètres de longueur. Elle isolait un massif qui marchait avec le mur. Celui-ci se porta peu à peu dans le chenal, et prit la position *iomn*.

La consolidation a consisté à enlever promptement le massif séparé jusqu'à la première retraite du mur, à battre des pilots dans le déblai, à les coiffer de chapeaux à trois mètres d'axe en axe, et à leur faire supporter une légère plate-forme avec fascines sur laquelle on a replacé les terres enlevées.

Ces travaux ont arrêté les mouvements. Ils n'ont été exécutés que sur huit mètres parallèlement au quai et doivent être continués.

Poteaux de garde.

Les murs de quai des bassins et des avants-ports sont exposés à être dégradés par le frottement et le choc des navires, actions très-puissantes dans les grands vents. On protége la maçonnerie par des poteaux *de garde* en bois *aa* (*fig.* 113) assemblés sur une semelle *c* et coiffés d'un chapeau *b* au niveau du couronnement du mur, le tout appliqué contre le parement; la semelle porte sur une saillie de la partie basse de la maçonnerie; toutes ces pièces sont fixées au mur par des goujons *mm* à vis et écrous qui ne doivent pas désaffleurer la charpente, afin que le frottement des navires n'ait lieu que sur le bois. Les poteaux sont à un mètre ou deux d'intervalle.

Les parties saillantes des navires s'engagent quelquefois sous les chapeaux, les soulèvent et les arrachent, aussi les a-t-on supprimés dans quelques ports. Il faut alors tailler la tête des poteaux en biseau dans l'intérêt des navires.

Pour éviter l'entretien assez coûteux des poteaux de garde, on doit remplacer le bois par du granit dans les nouveaux bassins du Havre. L'expérience apprendra si ce changement ne sera pas nuisible aux bâtiments.

Embarcadères ou appontements.

Dans nos ports militaires de l'Océan, où il n'y a point de bassins à flot, et où la profondeur ne serait pas toujours suffisante au pied des quais pour le grand tirant d'eau des vaisseaux de ligne, ceux-ci ne peuvent accoster les quais et sont obligés de se tenir plus au large, alors les communications s'établissent au moyen d'embarcadères mobiles qui suivent les mouvements de la marée; ce sont de grands tabliers en charpente de 15 à 16 mètres de longueur attachés aux quais par des chaînes ou des cordages, et portant à l'autre extrémité sur un ponton.

La figure 203 fait voir un embarcadère de ce genre construit sur les bords à longs talus vaseux de la Garonne.

Rampes, escaliers.

On fait aussi dans les avants-ports, le long des quais, des rampes ou des escaliers d'embarquement et de débarquement; les rampes ne doivent pas avoir moins d'un

sixième de pente. Les marches des escaliers doivent être arrondies à leurs arêtes, mais surtout à leur angle extérieur qui crève la coque des canots. Les mains-courantes, pour en faciliter l'accès, doivent être fixées dans un renfoncement de manière à ne pas désaffleurer le parement du quai pour éviter le choc des bâtiments (*le Havre*). Les rampes et escaliers se mettent ordinairement dans les angles des bassins.

Échelles.

Les échelles qu'on applique le long des murs de quai ne doivent présenter aucune saillie. Les échelons d'environ $0^m,65$ de longueur ont cinq centimètres de diamètre. Il est bon de les aplatir dans le milieu pour les pieds, et de les amincir aux bouts pour les mains. Ils sont scellés dans un renfoncement de $0^m,32$ de profondeur. Il est bon aussi de mettre au droit de chaque échelle une chaîne scellée d'un bout à la tablette du quai, et pendante de l'autre; elle aide à monter les derniers échelons. Dans quelques ports (*le Havre*) on a mis dans le même but une pièce de fonte qui fait saillie sur le couronnement.

Lorsqu'on a besoin de points d'amarre sur les parements des murs de quai, d'avant-port, des jetées ou des môles, on doit éviter qu'ils ne fassent une saillie dangereuse aux bâtiments. On peut employer de gros organeaux tournant autour de l'extrémité de l'ancre qui les retient, et qui viennent s'appliquer sur la face du quai dans laquelle on a ménagé un renfoncement où le tout se place sans désaffleurer le nu du mur (*fig.* 206 *bis*).

Pieux d'amarre.

Enfin, les quais des bassins qui, selon l'importance, ont de 20 à 30 mètres de largeur, doivent être garnis de pieux ou canons d'amarre.

CHAPITRE XIV.

BASSINS A FLOT ET ÉCLUSE.

Bassins à flot. Autrefois, presque tous les ports de l'Océan subissaient les variations de la marée; mais au fur et à mesure que l'importance de ces ports s'est accrue, on a mieux apprécié l'avantage de soustraire les bâtiments à cette succession d'échouages fatigants en les faisant entrer dans des bassins à flot. Il en résulte aussi une grande commodité pour les chargements et déchargements; et comme les progrès du commerce et de la richesse donnent en même temps les moyens de subvenir à la dépense des bassins à flot, on en établit aujourd'hui dans beaucoup de ports.

Un bassin à flot, comme l'indique le nom, est un espace où les bâtiments sont toujours à flot. La mer haute y pénètre par une écluse assez large pour laisser passer les navires; elle est munie de portes busquées, qui étant fermées au moment du plein, retiennent l'eau dans le bassin pendant le jusant.

Profondeur. La profondeur d'un bassin à flot est déterminée par le tirant d'eau des navires qu'il doit recevoir, la hauteur de la marée, la profondeur des parages et du chenal. Elle doit être plus grande que le tirant d'eau maximum des forts navires. 1° Pour subvenir aux pertes qui peuvent avoir lieu pendant le temps où la mer est plus basse que la retenue du bassin; 2° pour permettre l'abaissement d'une certaine tranche d'eau destinée à chasser devant l'entrée du bassin ou même dans le chenal; 3° pour que les navires ne talonnent point dans les mouvements de tangage lors des très-grands vents, ou par la propagation des vagues de l'avant-port pendant l'ouverture des portes; 4° pour pouvoir ouvrir les portes avant le plein et se donner ainsi plus de temps pour l'entrée et la sortie des bâtiments; 5° enfin, eu égard à l'exhaussement successif du fond par l'envasement que produit l'eau nouvelle introduite dans le bassin.

Pertes d'eau. Les pertes qu'éprouve un bassin à flot, pendant la basse mer, dépendent principalement du plus ou moins de perfection avec laquelle ferment les portes d'ebbe; en général, ces pertes sont d'autant plus fortes que les portes sont plus âgées. D'un autre

côté l'abaissement de l'eau dans un bassin est en raison inverse de sa superficie : les pertes sont aussi plus grandes pendant les marées de vive eau que pendant celles de morte eau.

D'après les causes que nous venons de désigner, on conçoit qu'on ne peut rien préciser sur le chiffre de ces abaissements, on ne peut que citer des exemples. En voici quelques-uns.

Au Havre, tous les bassins communiquant entre eux, l'abaissement pendant une marée est de 0^{m},21 en vive eau, et de 0^{m},17 en morte eau. La surface de ces bassins est de 19,3 hectares. Les pertes ont lieu par deux écluses de 12 à 13 mètres de largeur dans le bas, par deux aqueducs de quatre mètres de largeur chacun, et par quatre vannes d'environ six mètres de largeur ensemble.

A Honfleur, l'abaissement du petit bassin est de 0^{m},05 par marée. La superficie est de 0$^{hect.}$,94 ; les pertes ont lieu par une écluse de dix mètres de largeur.

Au port de commerce de Cherbourg, l'abaissement par marée était de 0^{m},30 en vive eau, et de 0^{m},15 en morte eau. La superficie du bassin est de 5 hect. 31 ; mais les pertes étaient considérables par l'écluse de 12 mètres de largeur dont les portes, le busc et même le radier étaient dans le plus mauvais état. Depuis les réparations qui ont eu lieu, les pertes sont insignifiantes.

A Anvers, l'abaissement en vive eau était par marée de 0^{m},16. Les portes ont environ 13 mètres de largeur dans le bas; il y a deux aqueducs latéraux de deux mètres d'ouverture chacun. La surface des bassins est de 9 hect. 4.

Si l'on ne peut apprécier d'avance les abaissements qu'éprouve l'eau des bassins à flot, il n'est pas plus facile de déterminer le relèvement du fond dans un temps donné.

L'atterrissement des bassins dépend de la quantité de vase que contient l'eau de la mer, et cela est très-variable suivant les parages; il dépend aussi de la fréquence des remplissages. Atterrissement des bassins.

On aura une idée de la promptitude des envasements dans quelques parties de l'Océan, quand on saura que l'épaisseur de la couche de vase que la marée dépose par jour peut être estimée dans les ports de :

Ramsgate, à	0m,004
Hull	0 ,003
Flessingue	0 ,005
Le Havre.	0 ,007
Honfleur.	0 ,020

Ces dépôts sont considérablement moindres dans la Méditerranée. D'après les draguages opérés pour entretenir une même profondeur, on peut calculer que l'épaisseur du dépôt qui se forme par année, est :

A Marseille, de. . . .	0m,006
A Cassin	0 ,100
A la Ciotat	0 ,037
A Bouc.	0 ,010

Pour tous les motifs précédents on donne aux bassins à flot une profondeur d'un demi-mètre à un mètre en sus du plus grand tirant d'eau des navires. Ainsi, le premier bassin d'Anvers devant recevoir des vaisseaux de ligne armés, et tirant 7 mètres sans différence, avait une profondeur de 7^{m},80 au-dessous des hautes mers de vive eau ordinaire donnant 7^{m},15 sur le buse de l'écluse (*fig.* 102).

Une autre considération règle encore la profondeur d'un bassin à flot, c'est lorsqu'on veut y faire entrer les navires d'un faible tirant d'eau pendant les mortes eaux. On conçoit qu'alors l'ouverture des portes exigeant que la retenue du bassin puisse être abaissée à ce niveau, sans que les bâtiments d'un fort tirant d'eau échouent, il est nécessaire que le fond du bassin soit baissé en conséquence.

Écluse de bassin à flot.

Les écluses des bassins à flot diffèrent ordinairement des écluses des canaux, en ce qu'elles n'ont point de sas. Ce sont simplement des bajoyers qui contiennent des portes busquées contre la pression de l'eau du bassin qu'elles retiennent à mer basse, et qu'on nomme portes d'ebbe.

Portes d'ebbe.

Une écluse doit avoir deux paires de portes d'ebbe *aa* et *bb* (*fig.* 175) pour se suppléer en cas de réparations ou d'accidents, ou pour se partager la pression qui serait jugée trop forte sur une seule porte. Ainsi, à Saint-Mâlo et à Granville, où les marées sont très-grandes, on a cru prudent de ne pas exposer une porte à une pression de neuf à onze mètres d'eau, et on a mis deux paires de portes à l'écluse, afin que chacune d'elles n'eût à supporter que cinq à six mètres d'eau.

Cette répartition de la charge s'opérera par l'effet d'un niveau intermédiaire maintenu dans l'intervalle compris entre les portes. Le jeu des ventelles, convenablement entr'ouvertes, entretiendra le niveau voulu. Cet intervalle peut d'ailleurs faire office de sas pour un ou plusieurs navires dont le tirant d'eau permettrait l'entrée ou la sortie avant le plein.

Portes de flot.

Quelquefois aussi l'écluse est munie de portes de flot *ccc*, destinées à retenir les hautes mers, et qui ne sont fermées que lorsqu'on veut empêcher les marées extraordinaires de pénétrer dans le bassin, ou lorsqu'on veut y faire quelques réparations qui exigent que l'eau s'y tienne basse.

Dimension des écluses, longueur.

L'écluse d'entrée d'un bassin à flot est donc quelquefois assez longue pour y placer deux paires de portes d'ebbe et une paire de portes de flot.

On est dans l'usage de laisser aux têtes d'amont et d'aval un espace suffisant pour faire un batardeau en glaise ou en béton, soutenu par deux rangs de poutrelles engagées dans des rainures *aa*, *bb*, figures 176 et 178. Ceci, toutefois, est peu applicable aux écluses des bassins militaires qui exigeraient des poutrelles trop longues. Dans quelques ports anglais (Londres, Hull), on a fait une grande rainure qui reçoit la quille d'un bateau-porte faisant batardeau quand on veut assécher les docks, visiter les écluses, etc.

Ponts tournants.

Ces écluses sont ordinairement munies d'un pont tournant et de deux aqueducs latéraux *dd* (*fig.* 175, 181) servant à établir entre la mer et le bassin une communication indépendante du passage de l'écluse, et aussi à donner des chasses.

On pratique quelquefois d'autres petits aqueducs dans les bajoyers : les uns au niveau du radier de la chambre des portes commencent du côté de la mer, débouchent dans les enclaves, et servent à faire, à mer haute, des chasses au devant des portes pour enlever la vase qui en gênerait les mouvements. Les autres, au niveau des buscs, commencent du côté du bassin, débouchent sur l'estrade du busc, et servent, conjointement avec les ventelles des portes, à chasser à mer basse les dépôts apportés par les marées en aval des portes. Aqueducs des bajoyers.

Les dispositions relatives aux premiers aqueducs sont indiquées figures 185 et 186. La figure 185 représente la coupe verticale dans l'axe d'une écluse de Liverpool ; la figure 186 est le plan des sections faites à diverses hauteurs pour faire voir les aqueducs.

Pour les écluses de la plus grande dimension, une distance de trois à quatre mètres entre les chardonnets de deux paires de portes opposées, ou entre les chardonnets de l'une et les enclaves de l'autre, est bien suffisante. Quant à la longueur entre les enclaves et le plan des têtes, dans le cas où il n'y aurait pas de batardeau, une distance de quatre mètres sera suffisante du côté de la mer ; on peut donner un peu moins du côté du bassin. Cette différence vient de ce qu'on doit supposer généralement que les vaisseaux entrent et sortent avant l'étale de pleine mer, et que le courant qui en résulte dans l'écluse favorise le halage des bâtiments dans le premier cas, et lui est contraire dans le second ; ainsi le choc contre les musoirs d'amont serait plus faible.

Dans quelques circonstances, on a ajouté un sas aux écluses de bassins à flot. Cette disposition permet de faire entrer ou sortir les bâtiments d'un petit tonnage dès qu'ils trouvent assez d'eau dans l'avant-port pour franchir le busc d'aval de l'écluse, ce qui donne plus de liberté pour les manœuvres des grands navires qui ne peuvent traverser l'écluse qu'au plein de la mer. Utilité d'un sas.

La largeur du passage des écluses des bassins à flot dépend évidemment de celle des bâtiments qui doivent la traverser. On donne ordinairement de chaque côté un jeu de $0^m,20$ pour les forts navires marchands, et $0^m,30$ pour les vaisseaux du premier rang, ce qui porte l'ouverture des écluses à 13 et 14 mètres dans le premier cas, et 17 à 18 mètres dans le second. Largeur du passage.

Telles étaient, il n'y a pas bien longtemps encore, les plus grandes largeurs des écluses de mer ; mais les dimensions des steamers de guerre et de la navigation transatlantique s'étant accrues, on a dû porter aujourd'hui l'ouverture des écluses dans quelques cas jusqu'à 21 mètres. Toutefois, des modifications essayées avec succès depuis trois ou quatre ans sur les bateaux à vapeur, et qui consistent à substituer aux roues latérales une seule roue en hélice, placée à l'arrière, permettent d'espérer qu'on reviendra aux largeurs d'écluses primitivement adoptées. Sera modifiée par l'usage des steamers.

La largeur dont je viens de parler doit se prendre au-dessus des bajoyers, auxquels on donne ordinairement un fruit qui va jusqu'au cinquième.

On peut même substituer à l'angle plan des murs de bajoyers et du radier une surface courbe se raccordant avec les parements verticaux des bajoyers d'une part et la surface horizontale du busc de l'autre (*fig.* 179) ; la façon des navires permet cette forme qui fortifie le radier, les bajoyers, et surtout les entretoises inférieures des portes. Elle était très-commune il y a un siècle, et elle est encore fréquemment en usage en Angleterre et en Hollande.

Les dimensions des autres parties des écluses des bassins à flot seront réglées conformément à ce qui a été dit (1) des écluses de canaux, et nous n'y reviendrons pas.

Deux écluses pour un bassin.

On a quelquefois construit deux écluses d'accession à un même bassin à flot, une grande et une petite; on cite le port de Bristol comme en ayant trois. Le but de ces écluses de différentes dimensions est de permettre le passage fréquent des petits navires, ordinairement en grand nombre, sans avoir recours à la grande écluse, et par là éviter la manœuvre des grandes portes qui est toujours plus longue et plus difficile.

Emplacement des écluses.

L'emplacement des écluses demande une grande attention. Non-seulement elles doivent être d'une accession facile, mais encore relativement à l'avant-port et au chenal, il est important qu'elles soient abritées, autant que possible, des agitations qui pourraient se communiquer du large jusqu'à elles.

1° Parce que ces ondulations gênent les navires à quai pendant que les portes sont ouvertes, ainsi que ceux qui traversent l'écluse;

2° Parce qu'elles rendent la manœuvre des portes de l'écluse longue et difficile. Ainsi, au Havre, il faut quelquefois vingt-cinq hommes pour ouvrir les portes de l'écluse de la Barre lors des grands vents de sud-ouest.

3° Parce qu'au moment du plein le sommet des vagues de l'avant-port se trouvant tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la retenue du bassin, les portes, si elles doivent rester fermées, s'entr'ouvrent et se referment brusquement à chaque vague, d'où résultent des chocs violents et dangereux; c'est ce qui a lieu à l'écluse de la Barre au Havre, à l'écluse du bassin du commerce de Cherbourg, à l'écluse de chasse de Calais. Toutefois, dans ce dernier exemple, l'agitation vient du côté de la retenue et non du côté du chenal.

Eu égard aux bassins à flot, les écluses ne doivent pas être trop rapprochées des quais parallèles à l'axe de l'écluse, elles doivent toujours laisser entre elles et ces quais un espace suffisant pour qu'un navire en chargement ne gêne pas le passage.

Hauteur des buscs.

Enfin, quant à la hauteur à laquelle on doit placer le seuil ou busc de l'écluse d'un bassin à flot, il est évident que plus il sera bas et plus on aura de temps pour traverser l'écluse. Cependant cette profondeur est relative à celle du chenal où les bâtiments doivent trouver autant d'eau que sur le busc, et même davantage, eu égard : 1° à la

---

(1) Cours de construction, *Navigation des rivières et des canaux*, chapitres XIV, XV et XVI.

CHAPITRE XV.

DES CHASSES.

Des chasses.

Nous avons vu que les ports de l'Océan avaient une tendance générale à l'engorgement par l'effet du mouvement des marées et de la marche des alluvions sur les côtes. On se débarrasse des dépôts au moyen du draguage et des chasses.

Le draguage à bras ou par machines s'exécute comme celui des rivières (1).

Les chasses méritent toute notre attention ; c'est le moyen le plus efficace et le plus économique.

Une chasse consiste à lâcher tout d'un coup, au moment de la basse mer, les eaux de la haute mer retenues dans un réservoir, et à obtenir ainsi un courant plus ou moins violent qui entraîne et qui *chasse* au large les matières déposées dans le chenal et l'avant-port.

Mouvement de l'eau des chasses, à la sortie des écluses,

Eu égard aux mouvements divers de l'eau, on remarque en général que, immédiatement à l'origine des chasses, surtout si les pertuis débouchent dans une section beaucoup plus large que la leur, il se forme une cataracte, des tourbillons de fond et de côté, des contre-courants, des remous, enfin des mouvements tumultueux dans toute direction. Ce n'est qu'à une certaine distance des orifices de chasse, deux à trois cents mètres environ, que le courant devient général et un peu régulier dans sa direction (*fig.* 196, 199).

Ainsi, à Boulogne, l'eau des chasses se jette à droite et à gauche, et y emploie une partie de sa force à remuer deux grands tourbillons.

---

(1) Il en a été parlé dans le cours précédent.

A Ostende, un grand tournant a lieu à gauche de l'écluse militaire et absorbe une portion du pouvoir de la chasse.

L'eau sortie des pertuis se répand dans l'avant-port et le chenal ; elle s'y élève, parce que ces espaces reçoivent plus des écluses de chasse qu'ils ne débitent du côté de la mer. Ce n'est qu'au bout d'un certain temps que l'eau arrive à la tête des jetées. Il se forme donc dans le chenal et l'avant-port, entre les écluses de chasse et l'extrémité des jetées, comme une seconde retenue intermédiaire d'où l'eau s'écoule vers la mer avec plus ou moins de force. C'est là la véritable chasse, la chasse utile, celle qui attaque les atterrissements ordinairement les plus nuisibles. dans l'avant-port et le chenal.

Le niveau de cette retenue éphémère se conserve pendant quelques minutes, après quoi il s'abaisse ; de ce moment la chasse est sans effet sensible, car les atterrissements qui ont pu résister jusqu'alors à une forte vitesse, ne peuvent être entamés par une vitesse moindre.

Le courant des chasses s'écoule assez régulièrement entre les jetées dans le chenal. Quant il arrive près de la mer, il s'incline un peu du côté du courant de jusant ou du côté de la jetée la plus courte ; il éprouve une diminution notable de vitesse, à cause de l'élargissement de la section et de l'agitation de la mer dont les vagues le rompent, le repoussent plus ou moins, et le forcent à s'épanouir en éventail. hors des jetées.

Les tourbillons, les remous, les agitations diverses, qu'on remarque immédiatement à la sortie de l'eau des écluses de chasse, et qui se prolongent jusqu'à deux cents et trois cents mètres, sont donc nuisibles à l'effet qu'on attend, puisqu'ils consomment en pure perte une grande quantité d'action aux dépens de la vitesse du courant qu'on veut obtenir entre les jetées et surtout à leur tête. Mais comment les empêcher ? Il faudrait pouvoir contenir et diriger l'eau dès sa sortie des pertuis, tant en dessous que sur les côtés, au moyen de parois courbes et l'amener ainsi jusque dans la partie du chenal où la section un peu uniforme donnerait au courant une régularité conservatrice de la vitesse. Force perdue.

Cette disposition paraît impossible, quand on considère que le chenal qu'on veut approfondir ou entretenir, n'étant pas le même que celui des écluses de chasse, il y a toujours à l'embranchement une cause de déviation du courant qui trouble l'écoulement ; et que là où le courant traverse le chenal, il faudrait fermer momentanément celui-ci, en continuant en quelque sorte la paroi dans laquelle coule l'eau des chasses et en la raccordant avec la face de la jetée opposée. Remous à la rencontre du chenal principal.

Ainsi, à Fécamp (*fig.* 199), tout le courant de la chasse ne gagne pas directement le chenal, une partie se répand dans le vaste espace de l'avant-port qui est à gauche, et se trouve perdu pour la chasse.

Dans plusieurs ports on a cherché à remédier à cet inconvénient, en se procurant d'autres courants venant de la partie supérieure du chenal, et qui repoussent celui des écluses de chasses dans sa direction normale. Chasses secondaires pour l'empêcher.

Ainsi, au Havre (*fig.* 196), le grand courant *aa* sortant de l'écluse de chasse *hh* tend

à se jeter sur le côté droit, et à y produire un remous *d* qu'on a cherché à combattre en repoussant le courant principal dans sa véritable direction au moyen de courants secondaires *bb* et *cc*, venant le premier du bassin de la Barre et le second des fossés de la place. L'inspection de la figure, où j'ai représenté, aussi fidèlement que je l'ai pu, les mouvements *apparents* des eaux, fera reconnaître que le but n'est pas complétement atteint.

Prédominance des courants par priorité.

Lorsque les chasses s'opèrent par plusieurs courants, il faut étudier l'ordre dans lequel ils doivent commencer pour obtenir le meilleur résultat. Cela n'est pas indifférent; il y a des courants qui, ayant la priorité, conservent leur prédominance, ou du moins sont peu influencés par ceux qui viennent après. En voici un exemple: lorsqu'on chassait en aval de l'écluse d'Anvers, on levait les vannes des aqueducs latéraux et les ventelles des portes; on obtenait des mouvements d'eau différents, selon qu'on commençait par les aqueducs, ou par les ventelles; les figures 205 et 206 montrent ces différences.

Tout en reconnaissant les difficultés qu'on aurait à vaincre pour éviter la perte d'une grande partie de la force des chasses, il faut avouer qu'on n'a point encore donné assez d'attention au perfectionnement qu'on pourrait apporter sous ce rapport aux formes des canaux d'amenée et de fuite immédiatement en amont et en aval des pertuis, et qu'on n'a pas assez cherché à éviter les contractions nuisibles à l'écoulement.

On voit bien que des ingénieurs ont senti cette nécessité ; dans quelques cas, que je pourrais citer, on remarque qu'on a établi à la sortie des écluses des guideaux fixes qui empêchent l'eau de s'épandre brusquement de côté. Mais on n'a point encore, que je sache, construit des écluses en adoptant dans le principe des formes d'entrée et de sortie qui auraient le but de faire courir les eaux plus vite et plus loin dans une direction parallèle à la ligne qu'on veut qu'elles suivent.

Toutefois, on doit tenir compte aux ingénieurs Hollandais des efforts qu'ils ont faits pour placer le courant des chasses dans l'axe même du chenal et de l'écluse du bassin à flot. Nous reviendrons sur ces moyens.

De la corrosion du fond, près des écluses, dans le chenal,

Eu égard à la corrosion du fond par les chasses, on remarque d'abord de profonds affouillements à la sortie de l'eau des pertuis, effets sans utilité pour le chenal et résultant d'une vitesse mal employée. Plus loin, l'approfondissement est moins irrégulier, quoique toujours assez fort, et souvent dangereux pour les constructions riveraines. Il diminue ensuite peu à peu, jusqu'à la tête des jetées, où ont lieu des effets très-remarquables.

hors des jetées.

Le courant des chasses, se jetant dans la mer, produit sur les alluvions qu'il rencontre et qu'il entraîne des effets semblables à ceux que nous avons remarqués aux embouchures des rivières. Il y a presque toujours en amont une profondeur plus grande qu'en aval. Aux points où le courant du chenal est rompu et divisé par la résistance de la mer marchant parallèlement à la côte et souvent aussi par la direction opposée des vagues, il y a dépôt. Il se forme une espèce de barre qui a quelquefois un

Des dépôts dans la mer.

mètre d'élévation au-dessus du thalweg du chenal près de l'entrée; cet effet est un résultat inévitable des chasses.

On ne pourrait espérer d'y échapper qu'en prolongeant les jetées jusqu'à un point de la mer assez profond pour que le dépôt ne fût pas nuisible, ou assez éloigné de la côte pour que les matières chassées du chenal fussent entraînées par les courants littoraux. Dans le premier cas, l'inspection du profil en prolongement du chenal des divers ports, démontre combien cet allongement des jetées serait dispendieux par son étendue ; et dans le second, nous verrons que l'expérience apprend qu'il y a peu d'effet à attendre du courant littoral.

Et d'ailleurs, l'effet général que nous avons signalé, eu égard à la perturbation que les jetées apportent au régime de la partie de la côte qu'elles touchent, effet lent à la vérité mais progressif, indique que les alluvions littorales et celles repoussées par les chasses s'agglomèrent autour de la tête des jetées, relèvent le fond à ce point, favorisent la formation de la barre dont nous parlons et concourent à son relief.

Il est inutile de dire que ce que nous venons de décrire pour les alluvions sablonneuses est encore plus prononcé pour les galets. On voit presque toujours ces terribles alluvions se déposer en barre demi-circulaire un peu au large de la tête des jetées. Le courant, à la fin des chasses, vient expirer contre cet obstacle, il le franchit par déversement, mais sans l'entamer. Ainsi, le prolongement des jetées ne reculerait qu'à une époque peu éloignée la hauteur nuisible de la barre; car d'une part les courants n'ont aucune prise sur le galet, et de l'autre le galet, d'abord repoussé dans les profondeurs d'un à deux mètres, serait peu à peu ramassé par les fortes lames de mer basse, et rassemblé sur la barre qu'il exhausserait promptement.

Dans l'action des chasses sur le fond, il faut distinguer deux cas : 1° celui où les chasses ont lieu pour la premières fois ; 2° celui où elles sont habituelles.

Des premières chasses.

Dans le premier cas, le courant attaque un terrain vierge, et y creuse des profondeurs qui n'avaient jamais existé. Ces effets sont plus ou moins longs à se produire ; l'action du courant n'est pas complète en quelques heures ; le terrain ne cède que peu à peu, et pendant les courts instants où la puissance de la chasse est à son plus haut degré. Il faut quelquefois trente ou quarante chasses pour obtenir le maximum de profondeur, mais les premiers effets sont très-prononcés. Ainsi, à Calais, les douze premières chasses ont enlevé cent mille mètres cubes de sable. Les approfondissements diminuent ensuite de plus en plus, parce que l'énergie des chasses s'affaiblit par l'augmentation du débouché qu'elles s'ouvrent, et parce que, ordinairement, la résistance du terrain est plus grande dans le bas qu'à la surface.

Des chasses habituelles.

Dans le cas où les chasses sont habituelles, tout l'effet utile a déjà été obtenu par les chasses précédentes ; l'action de celles qui suivent se réduit à enlever les alluvions rapportées pendant le temps où l'on a cessé de chasser.

Les chasses sont interrompues par des motifs exceptionnels, comme les réparations des écluses, et par des causes périodiques, telles que les marées de morte-eau, et les

vents du large régnant dans certaines saisons, et retenant dans le chenal une plus grande hauteur d'eau inerte à mer basse.

Quand on reprend les chasses après ces interruptions, elles remettent le chenal dans l'état où l'avaient laissé les chasses précédentes ; de sorte que le régime d'un chenal consiste en une succession de dépôts et de corrosions variant entre certaines limites.

Dans ce cas, l'effet total s'obtient quelquefois en une chasse, ou même seulement dans le commencement de cette chasse ; car c'est ordinairement dans le premier quart d'heure qu'elle acquiert son maximum de puissance.

Expériences des chasses de Dunkerque.

Je ne puis rien faire de mieux, pour montrer ces effets, que de donner quelques détails des expériences faites en 1833 sur les chasses du port de Dunkerque.

ahc (*fig.* 188) est le chenal, *g* le bassin de retenue de 31 hectares de superficie, *d* la grande écluse de chasse ayant cinq pertuis de 4^{m},20 de largeur chacun. Deux autres écluses, situées l'une dans le chenal de la cunette, l'autre dans l'arrière-port, fournissent aussi des courants évalués au tiers en volume du produit de la grande écluse. Ils arrivent de *c* en *h*; ils empêchent le grand courant de l'écluse *d* de produire un trop grand remous dans le chenal, et de se porter avec trop de violence contre la jetée de l'est.

En 1833, le courant général, après avoir suivi le chenal jusqu'à son embouchure *a*, commençait là à dévier à l'est, et creusait une passe tortueuse *ab*, dont la figure 193 indique le profil par la ligne ponctuée avec millésime 1833.

Pour faire une chasse en vive eau, l'eau étant retenue à environ 4^{m},50 au-dessus du seuil des pertuis, quinze minutes avant l'heure de basse mer, on ouvrait d'abord les écluses de la cunette et de l'arrière-port dont les eaux avaient plus d'espace à parcourir pour arriver à la passe, puis six minutes après on ouvrait les portes de la grande écluse *d*.

Au bout d'une heure d'écoulement, on pouvait considérer la chasse comme terminée. La tranche d'eau sortie du bassin avait environ 2^{m},10 de hauteur, et pendant les dix premières minutes elle était d'environ 0^{m},45.

Le maximum de la vitesse dans le chenal, mesurée au fil de l'eau et à la surface sur les trois cents derniers mètres du chenal, a varié dans trois chasses de 2^{m},25 à 3^{m},70 et celle du courant dans la passe, mesurée sur 300 mètres au delà du musoir de la jetée de l'est, a été de 1^{m},25 à 1^{m},70. Les plus grandes vitesses avaient lieu au moment de mer basse. Elles étaient simultanées dans le chenal et dans la passe.

La plus grande vitesse du courant dans la passe ne coïncidait pas avec les plus hautes eaux dans le chenal, comme on aurait pu le présumer ; soit parce que cette hauteur génératrice de la vitesse met un certain temps à produire son effet ; soit parce que, quand les eaux du chenal sont plus hautes, elles divergent davantage en sortant des jetées et donnent une plus grande section sur la passe.

Tableau extrait des expériences sur les chasses de Dunkerque.

TEMPS.	HAUTEUR DE L'EAU de la retenue sur le seuil des pertuis.	HAUTEUR DE L'EAU du chenal sur la basse mer de vive eau.	PLUS GRANDE VITESSE DU COURANT dans le chenal.	PLUS GRANDE VITESSE DU COURANT dans la passe.	OBSERVATIONS.
	Chasse du 10 août 1835, pleine lune le 8, coefficient 0,90.				
h. minut.					
6 50	4m,50	0m,52	»	»	On ouvre l'écluse.
6 52	»	0 ,55			
6 53	»	1 ,14			
6 55	4 ,20	0 ,78	1m,95	1m,11	
7 »	2 ,45	0 ,53	2 ,05	1 ,11	
7 5	3 ,80	0 ,50	3 ,70	1 ,25	Basse mer.
7 10	3 ,65	0 ,45	2 ,04	1 ,11	
7 30	2 ,91	0 ,32	0 ,98	0 ,55	
8 »	2 ,24	0 ,40	0 ,80	0 ,46	
	Chasse du 11 août.				
8 »	4 ,45	0 ,51	»	»	On ouvre l'écluse.
8 1	»	0 ,55			
8 1 1/2	»	1 ,01			
8 5	4 ,10	0 ,77	1 ,94	1 ,30	
8 10	4 ,00	0 ,57	2 ,45	1 ,32	
8 15	3 ,80	0 ,59	3 ,26	1 ,40	Basse mer.
8 20	3 ,60	0 ,56	2 ,45	1 ,00	
8 40	2 ,85	0 ,55	1 ,30	0 ,83	
8 50	2 ,60	0 ,61	1 ,08	0 ,66	
	Chasse du 12 août.				
8 50	4 ,45	0 ,58	»	»	On ouvre l'écluse.
8 52	»	1 ,02			
8 55	4 ,10	0 ,78	1 ,51	1 ,40	
9 5	3 ,76	0 ,50	1 ,90	1 ,66	Basse mer.
9 10	3 ,56	0 ,50	2 ,25	1 ,70	Basse mer.
9 20	3 ,18	0 ,66	1 ,50	1 ,05	
9 35	2 ,75	0 ,73	0 ,90	0 ,65	

Nota. Le busc de l'écluse de chasse est à 0m,50 au-dessus de la basse mer de vive eau.

Pour connaître les effets successifs d'une chasse sur la passe, on a pris plusieurs profils du fond sur la ligne A B (*fig.* 188), pendant la chasse, et à des intervalles de temps assez rapprochés pour ne laisser aucun mouvement du fond inaperçu.

L'expérience a été faite le 6 septembre 1835 (pleine lune le 7, — coefficient 0,92); on n'avait point chassé depuis douze jours. L'eau de la retenue était à $4^{m},35$ au-dessus du seuil des pertuis. On a ouvert les portes de l'écluse à $5^{h},35'$; la mer était basse à $6^{h},0'$.

Un premier profil avait été pris avant la chasse. Neuf autres furent pris pendant la chasse, de $5^{h},35'$ à $6^{h},45'$. L'opération pour chacun d'eux durait de deux à six minutes. Il est inutile d'en donner le détail, il suffira de dire que les huit derniers profils ne différaient presque pas entre eux; c'est-à-dire que tout l'effet de la chasse sur ce point avait été obtenu en quinze minutes. C'est ce que démontre la comparaison du troisième et du dixième profil avec le premier (*fig.* 191 et 192).

Ce résultat est conforme aux observations sur la vitesse dans la passe, qui atteint le maximum un quart d'heure après l'ouverture des portes de l'écluse, c'est-à-dire à peu près au moment de la basse mer.

Des chasses dans le galet.

Les chasses ont une action analogue sur le galet.

A Douvres, avant l'établissement des tuyaux de chasse, dont je parlerai plus loin, lorsqu'on avait levé de $2^{m},40$, les quatre vannes de la grande retenue R (*fig.* 207), ce qui exigeait cinq à six minutes, l'eau mettait ensuite six minutes à s'élever de $1^{m},50$ au turn-water *d c*, qui est à peu près au niveau de basse mer de vive eau. Le courant restait à cette hauteur douze minutes, après quoi il s'abaissait; et quelques minutes après, l'abaissement étant de $0^{m},30$, l'effet de la chasse était nul.

J'ai reconnu au Havre et à Fécamp, en mesurant les vitesses du courant des chasses, qu'il n'enlevait le galet que quand il avait environ 2 mètres de vitesse.

A Dieppe, lorsque l'entrée du port est embarrassée par le galet, l'action des chasses commence vingt minutes après l'ouverture des portes. Elle se prolonge pendant une demi-heure environ, c'est-à-dire tant que le courant dans l'avant-port conserve à peu près la même hauteur. Lorsque les eaux baissent, l'action cesse.

Si l'entrée du port est bien ouverte, les chasses ne produisent aucun résultat.

De même, s'il fait beau et que l'entrée soit embarrassée, les trois ou quatre premières chasses d'une vive eau ne laissent rien à faire aux autres; mais si la mer est grosse, elle change les pouliers, les augmente dans l'intervalle des chasses, et alors les dernières sont encore efficaces.

La figure 89 indique par les lignes de basse mer de vive eau les résultats successifs de chasses exécutées à Dieppe depuis le 25 janvier 1834 jusqu'au 1er septembre suivant.

La figure 76 indique également, pour le port de Tréport, par les lignes de basse mer de vive eau, les situations respectives du galet le 22 décembre 1833 et le 31 du

même mois. Le premier jour, la largeur du chenal n'était que de quatre mètres, et le 31 elle avait été portée à 27 mètres par trois ou quatre chasses. Les chasses d'une vive eau peuvent enlever dans ce port, selon Cessart, environ 3,000 mètres cubes de galet.

Volume enlevé par les chasses.

A Dieppe, on peut expulser jusqu'à 1,500 mètres cubes de galet en une seule chasse.

A Calais, une chasse enlève à peu près 800 mètres cubes de sable, tant en dedans qu'en dehors du chenal.

A Ostende, une chasse de la première écluse, construite en 1810, enlevait environ 500 mètres cubes.

La puissance des chasses dépend : 1° de la vitesse du courant dans le chenal. 2° De la masse d'eau qui s'écoule. 3° Du temps que peut durer l'écoulement. 4° De la distance de la retenue aux points que l'on veut attaquer. 5° De la hauteur d'eau restant à mer basse sur les points qu'il faut approfondir.

D'où dépend la puissance des chasses.

1° *De la vitesse du courant dans le chenal.* 2° *De la masse d'eau qui s'écoule.* La vitesse et la masse sont deux éléments corrélatifs de la puissance des chasses. Il est évident que la corrosion du fond augmente avec la vitesse, et celle-ci est elle-même plus grande pour la même pente, quand la masse écoulée est plus considérable, puisque le périmètre mouillé est proportionnellement plus petit.

De la vitesse et de la masse.

Ainsi, le grand principe des chasses consiste à débiter la plus grande quantité d'eau dans le moindre temps ; par là on remplit promptement l'avant-port ou le chenal ; le niveau s'y élève davantage ; la pente jusqu'à la mer, qui en résulte, est plus grande, et on obtient sur les dépôts formés à la tête des jetées un courant plus énergique en masse et en vitesse.

3° *Du temps que peut durer l'écoulement.* L'effet d'une chasse dépend du temps pendant lequel elle peut avoir lieu, en admettant toutefois que l'approfondissement n'est pas déjà arrivé à son maximum possible; car si le régime est établi, la continuation de l'écoulement ne peut apporter de changements au lit du chenal, et dans la plupart des cas le maximum d'effet est obtenu en peu de temps.

De la durée de l'écoulement.

Il est donc bien important de commencer les chasses de manière que l'écoulement ait lieu au moment des plus basses mers, c'est-à-dire un peu avant l'étale pour finir un peu après.

Ce que nous disons ici doit s'entendre principalement du gravier et du galet; pour les ports qui s'encombrent de vase et de menu sable, plus une chasse est longue et plus elle est utile, parce que ces matières, que l'eau de la mer tient en suspension et qui rentrent dans le chenal au flot, ne s'y déposent pas, tant qu'il existe un courant qui les rejette au large.

4° *De la distance de la retenue aux points que l'on veut attaquer.* L'effet dépend aussi de la distance de la retenue au point que l'on veut attaquer, puisque la vitesse à ce point, c'est-à-dire la pente, est fonction de cette distance. Ainsi, il est évident que

De la proximité de la retenue.

lorsque le courant des chasses traverse l'avant-port avant d'entrer dans le chenal, il arrive dans celui-ci avec une vitesse moindre que si les écluses y débouchaient directement, puisque la pente totale, entre la retenue et la basse mer dans le chenal, est répartie sur une plus grande longueur. En outre, la masse d'eau employée à remplir l'avant-port, jusqu'à une certaine hauteur, n'ayant point passé par le chenal, est perdue pour la chasse.

Il est d'autant plus important de rapprocher la retenue du chenal, que, ordinairement, c'est à l'embouchure de la mer qu'ont lieu les atterrissements les plus nuisibles et les plus fréquents, point où malheureusement le courant a le moins d'effet, les vagues, comme nous l'avons dit, le repoussant et le forçant à diverger.

Pertuis de chasse à la tête des jetées à Douvres.

Il serait donc à désirer qu'on pût faire déboucher les écluses de chasses près de la tête des jetées. C'est pour satisfaire à cette condition qu'à Douvres on a essayé un système combiné de longs tuyaux de fonte de $2^m,10$ de diamètre *i i i* (*fig.* 207) prolongés jusqu'à la tête de la jetée de l'ouest et de divers aqueducs voûtés *m m m* établissant la communication avec les retenues *r r*. En 1819, il n'y avait que deux tuyaux, mais attendu leur inefficacité, on se décida en 1836 à porter leur nombre à sept. Six viennent déboucher dans la tête même de la jetée, dont la largeur a permis cette disposition, le septième arrive dans un angle rentrant du chenal. Ce dernier est le seul qui paraisse avoir un bon effet ; les autres n'empêchent pas la formation d'un gros banc de galet qui environne la tête de la jetée et cache presque toujours la bouche des tuyaux.

Lorsque le chenal est rectiligne, il est difficile d'embrancher le canal de chasse et de placer le bassin de retenue ; mais s'il est sinueux, on peut disposer les écluses de chasse dans le prolongement d'une des directions du chenal; dans tous les cas il faut empêcher le courant des chasses de remonter vers l'avant-port et de s'y répandre. A cet effet, il est bon d'y faire arriver un autre courant, quelque faible qu'il soit, pour repousser le remous du premier.

De la hauteur de la mer basse sur le fond du chenal.

3° *De la hauteur restant à mer basse sur les points qu'il faut approfondir.* L'effet des chasses dépend encore de la hauteur d'eau morte qui reste à mer basse sur les parties qu'on veut approfondir. En effet, la section d'écoulement croissant avec cette hauteur, la vitesse devient plus petite pour le même débit, par conséquent le fond est moins attaqué. On a journellement la preuve de cet obstacle dans les ports. A Douvres, par exemple, si les vents de sud-ouest soufflent avec force pendant quelques jours des mortes eaux, le galet s'amasse en quantité entre les jetées ; par ces vents la mer baisse moins qu'à l'ordinaire, et bien que par la même cause elle soit montée dans la retenue presque aussi haut que dans les syzygies, et que la pente soit à peu près la même qu'en vive eau, les chasses ne peuvent entraîner le galet, qui pour une même pente et une même vitesse initiale en vives eaux serait poussé au large. Des faits semblables se reproduisent dans d'autres ports de la Manche.

Le courant des chasses ne se porte pas toujours sur les atterrissements qu'il convient d'enlever, et pour en retirer l'effet le plus utile on le dirige par plusieurs procédés.

Le plus connu, le plus employé et le plus efficace est le guideau (*fig.* 152, 158, 156). C'est un grand radeau formé de quatre poutres de sapin *aa* de 14 à 24 mètres de longueur, recouvertes par un plancher de même bois de $3^m,35$ de largeur. Au moyen de quatre à cinq poteaux *mm* qui le traversent contre l'une des poutres de rives, et dont la longueur sous le plancher peut varier en plaçant un cliquet à charnière *i* dans une crémaillère rentrante *n*, on force le plancher, qui s'appliquerait à plat sur le fond à mer basse, à s'échouer dans une position plus ou moins inclinée comme un pupitre (*fig.* 157). Le courant *h* qui vient le frapper est donc obligé de suivre le guideau ou de se réfléchir de l'autre côté; il entraîne insensiblement le fond sous l'arête inférieure du plancher qui descend au fur et à mesure dans l'affouillement, préserve la partie *d* qui est sous lui, et force le courant à agir sur toute la partie *x* de l'atterrissement qui est au devant. Moyens de diriger les courants, guideau.

Le succès de l'opération consiste à donner au guideau la position favorable à l'échouage et à la corrosion, ce qui demande quelque habitude pour l'amarrer à la place convenable à mer haute.

On place plusieurs guideaux les uns à la suite des autres.

Ce moyen réussit dans la vase, le sable et même le galet. Ainsi, à Dieppe, les guideaux augmentent tellement l'action des courants, qu'on peut en les employant entraîner hors des jetées quinze cents mètres cubes de galets dans une seule chasse.

Lorsque les alluvions ont des lieux habituels de dépôt, où on sait que le courant des chasses ne se dirige pas naturellement, il peut être avantageux d'y conduire le courant au moyen d'obstacles submersibles en permanence qui seraient en quelque sorte des *guideaux fixes*. C'est ce que les Anglais ont exécuté dans plusieurs ports et ce qu'ils nomment *turn-water-apron*. On voit (*fig.* 207) deux turn-waters *ab* et *cd* qui sont à l'entrée du port de Douvres.

On emploie aussi des pontons ou des bâtiments à fond plat qu'on échoue près des parties qu'on veut approfondir, de manière à forcer le courant à passer à côté des pontons. Quelquefois ces pontons ont des espèces d'ailes ou gouvernails pour obliger le courant à faire un coude le long du ponton. Ponton.

Lorsque le terrain n'est pas trop dur, et qu'il s'agit d'approfondir un chenal déjà commencé, on peut employer des bateaux portant de grandes roues à aubes très-étroites formant hérisson; l'arbre peut être descendu aussi près du fond que l'on veut, et le frottement des alluchons a bientôt entamé le terrain dont les parcelles sont entraînées par l'eau. Roue hérisson.

On dirige encore le courant des chasses au moyen de simples et légères digues de tunages ou de fascines piquetées. Le système qu'on doit suivre dans ces petits ouvrages, est d'empêcher le courant de s'écarter de l'axe en les faisant servir à protéger les atterrissements latéraux, ce qui le force à se porter dans le milieu et à l'approfondir. Fascinages et tunages.

Des manœuvres dragueurs munis de grandes bottes imperméables provoquent et

déterminent le passage du courant, aident et entretiennent l'action avec la pelle et la pioche.

Le courant des chasses est conduit par les ouvrages de fascinages même au milieu des galets dont la résistance semblerait devoir exclure ce moyen de direction. Dans les ports où s'accumulent les galets, si les vents qui les amènent sont assez violents pour qu'une chasse ne puisse repousser la quantité qui est entrée dans la marée précédente, s'il arrive que ces vents soufflent avec force lors des mortes eaux pendant lesquelles on ne peut chasser, la masse de galets, croissant toujours, ferme le port ou ne laisse qu'une entrée dont la direction ne peut être suivie par les navires. Lorsque ces vents ont cessé, et qu'on veut rétablir la passe au moyen des chasses, le courant qu'elles produisent suit naturellement la mauvaise direction qui existe, et tout en approfondissant le chenal, les chasses ne peuvent parvenir à le redresser, à le déplacer, et enfin à le rétablir dans la position convenable. Alors on est obligé d'appeler ce courant dans la direction voulue en ouvrant à bras d'homme une tranchée dans le galet, et en même temps on barre le faux thalweg par de petits batardeaux de fascinages. Ces légers ouvrages, exécutés à la hâte à mer basse, ne pourraient résister à l'impulsion de l'eau arrivant par le canal dont on veut la détourner, si on ouvrait les pertuis de chasse comme à l'ordinaire. On doit en modérer l'écoulement, de manière à ce que le volume débité puisse être contenu par les fascinages et forcé de prendre le chemin qu'on lui a ouvert dans la masse de galets. Dès qu'il a commencé à suivre cette direction, il entraîne les galets, agrandit la tranchée, et dans les chasses suivantes, on peut, sans inconvénient pour le fascinage, ouvrir davantage les écluses.

Chasse au pied des quais des avant-ports.

Quand les ports d'échouage sont très-larges et que le courant des chasses n'en occupe qu'une petite partie, il n'entraîne pas les alluvions que la mer a déposées au pied des murs de quai. Dans les parages où la mer est très-vaseuse, le draguage de ces dépôts devrait être fréquent et serait très-onéreux; on a imaginé de conduire l'eau des retenues par un aqueduc placé immédiatement derrière les murs de quai, percés de distance en distance par d'autres aqueducs perpendiculaires au premier, et qui débouchent au pied des quais. Une vanne en tête du principal aqueduc ouvre ou ferme la communication avec la retenue.

Exemple à la Rochelle.

Ce système est exécuté à la Rochelle (*fig.* 111). Les aqueducs transversaux *bbb*, communiquant au port d'échouage *a*, sont à 13 mètres environ d'intervalle, et ont $1^{m},40$ d'ouverture. L'aqueduc longitudinal *poc*, qui fournit à leur débit, a trois mètres de largeur. Il reçoit l'eau de la mer haute recueillie dans les fossés de la place par l'aqueduc *pr*.

Il arrive peu d'eau aux petits aqueducs les plus éloignés de la retenue; pour la faire parvenir en quantité suffisante à chacun d'eux, on est obligé de fermer les autres avec des poutrelles. Cet inconvénient n'aura plus lieu quand on aura ouvert la communication *cim* avec le nouvelle retenue *h*.

Des épis contre le galet

Avant de terminer ce que j'ai à dire sur l'expulsion des alluvions littorales, je dois examiner un moyen qui a été essayé depuis bien longtemps pour préserver les ports de

la Manche de l'encombrement du galet, le plus grand obstacle à leur prospérité, je veux parler des épis.

Sur les côtes de la Haute-Normandie, comme sur celles des comtés de Kent et de Sussex en Angleterre, on a construit beaucoup d'épis. On diffère d'opinion sur leurs effets. Les uns les ont regardés comme utiles, les autres ont prétendu, au contraire, qu'ils étaient nuisibles ; ces opinions sont toutes deux fondées, selon l'époque à laquelle on considère ces constructions.

Un épi n'est qu'un moyen *préventif;* il arrête les galets dans les premiers temps de son existence, mais bientôt dépassé par la masse toujours croissante du dépôt, il n'oppose plus d'obstacle à la marche du galet qui chemine le long de la côte comme auparavant. Il peut même arriver que le dépôt, entamé par une grosse mer, fournisse momentanément une plus grande quantité de galets qu'il n'en fût venu dans le même temps par le régime habituel de la côte et par les grandes vagues. ne sont qu'un moyen préventif.

Voici ce que pensait Smeaton de ces constructions : « J'admettrai que si ces ouvrages étaient avancés bien loin dans la mer, et dûment entretenus, ils arrêteraient » une certaine masse de galets ; mais comme ils n'arrêteraient pas ceux qui viennent » incessamment dépasser leur tête, quand la saillie est comblée, et que la main de » l'homme ne pourrait les prolonger aussi loin que la nature pousserait les galets, à » moins d'un travail perpétuel, ce moyen ne me semble pas proposable. Opinion de Smeaton,

» On peut dire, il est vrai, que quoique la tête de l'ouvrage ne puisse retenir » qu'une certaine quantité de galets, si le galet était obligé pour y arriver de traverser » une grande profondeur d'eau, il serait perdu dans la mer, et ne reviendrait jamais » sur la côte. A cela je réponds que je craindrais qu'on ne pût prolonger les épis jus» qu'à une telle profondeur, quand je considère les profondeurs qu'il traverse en suivant » la côte pour apparaître de nouveau (1). »

Lamblardie est à peu près du même avis sur les effets des épis, en leur attribuant de plus l'inconvénient d'exposer la côte sous le vent à être corrodée à la base de l'épi, qui se trouve dégarnie de galet. de Lamblardie.

Quoi qu'il en soit de l'opinion de ces deux ingénieurs, quoique les épis aient été abandonnés sur plusieurs points, on en a construit cinq tout récemment, à l'ouest du chenal de Dieppe (*fig.* 78), dans l'intention de régulariser la marche du galet qui, dans certains temps, arrive devant ce port en si énorme quantité. Épis construits à Dieppe, en 1838.

Leur profil a varié selon la forme qu'avait la plage à l'époque de leur construction. La figure 77 indique un de ces épis. La ligne ponctuée est le profil que prend la plage par les vents d'ouest. Par les vents de nord-nord-est, ces épis se dégarnissent ; sans doute le galet retourne sur ses pas.

Ces épis n'ont point régularisé la marche du galet. Depuis qu'ils sont construits, on

---

(1) *Mémoire sur le port de Douvres*, juin 1769.

a vu des pouliers de plus de dix mille mètres cubes se former, en huit jours, dans le chenal.

Condition qui rendrait les épis utiles.

On ne peut nier que si on entretenait constamment la partie de la côte au vent d'un épi, de manière à ce que l'enracinement de cet ouvrage fût toujours dégagé, on aurait en tout temps un vaste réceptacle préparé à loger la grande quantité de galets qui marchent dans les grands vents; et si enfin, il n'était pas suffisant pour contenir la totalité, il en passerait beaucoup moins pendant le temps que durerait le gros temps, et partant, il en entrerait moins dans le port sous le vent de l'épi. Or, c'est pendant le grand vent, faisant marcher le galet plus promptement, que le port serait le plus dangereusement comblé, parce que, ces vents battant en côte et retenant la mer descendante, les chasses n'ont presque plus d'effet.

Enlèvement à bras du galet; a lieu au Havre,

On voit que le problème serait résolu, si on enlevait le galet à bras d'hommes au fur et à mesure qu'il arrive devant les épis, ce qui me parait plus facile que de le faire dans le chenal des ports. Quant à la dépense qui, au premier abord, parait considérable, elle dépend évidemment de la quantité du galet de passage. Ainsi, au port du Havre, où il n'arrive qu'environ douze mille mètres cubes de galets par an, on s'en débarrasse complétement aujourd'hui, en les faisant enlever au nord des jetées et en imposant aux navires en partance l'obligation de s'en servir comme lest. Le grand commerce du Havre rend ce moyen efficace et peu onéreux à la marine marchande; on peut dire qu'aujourd'hui il n'entre pas, dans le chenal du Havre, un seul galet venant de la côte de l'ouest.

sera essayé à Fécamp et au Tréport.

Mais dans un port qui en recevrait vingt mille mètres cubes par an, et où il n'entrerait que cinq ou six cents navires, il serait impossible que le commerce supportât cette charge, et on serait obligé d'en payer l'enlèvement à bras. Toutefois, si on veut se rendre compte de cette dépense annuelle, et la comparer aux intérêts du capital d'établissement d'une écluse de chasse, on verra que la chose est faisable, et on ne sera pas éloigné de croire que ce moyen peut être essayé. C'est, en effet, ce qui va avoir lieu à Fécamp et même au Tréport.

Bassin de retenue des chasses.

La meilleure forme des bassins de retenue, est celle qui permet la sortie de la plus grande quantité d'eau dans le moindre temps, c'est-à-dire celle où la distance moyenne des particules d'eau à l'orifice est un minimum. C'est celle d'un demi cercle dont l'écluse de chasse serait au centre, et dont le quai du chenal ou de l'avant-port serait le diamètre. Mais il est très-rare qu'on puisse adopter cette forme ou même en approcher; il est rare que l'espace environnant l'avant-port ne soit pas déjà occupé par des établissements utiles au commerce, et dont l'acquisition serait trop coûteuse.

Inconvénient des chasses.

D'ailleurs, il y a des limites qu'on ne peut dépasser dans chaque localité pour la quantité d'eau à lâcher dans un moindre temps, parce que les courants attaquent les fondations des constructions riveraines du chenal. C'est ainsi qu'ont été affouillés le quai nord du Paradis à Calais, le musoir de flot à Anvers, la jetée nord du Havre, la jetée est de Dieppe, la jetée ouest de Boulogne, etc., etc. Dans plusieurs ports, on a été obligé de modérer l'écoulement des chasses pour ne pas compromettre l'existence des constructions en aval.

Alimentation des retenues.

Les retenues s'alimentent en y laissant rentrer la mer montante. On peut aussi y joindre quelques cours d'eau; mais il faut faire attention aux eaux d'orage de ces ruisseaux qui peuvent ensabler promptement la retenue, tandis que l'eau de la mer étant généralement plus pure ne force pas à des curages aussi fréquents.

Chasse avec les bassins à flot.

Dans les ports où il y a des bassins à flot, il est naturel de s'en servir pour chasser, ou au moins pour augmenter le produit des chasses; car on ne peut employer qu'une tranche assez petite pour ne pas exposer les navires à l'échouage; il faut d'ailleurs savoir que l'ouverture subite des vannes de chasse produit des ondulations dans les retenues, lesquelles troublent la tranquillité des bâtiments.

Dimensions des retenues, charge d'eau, etc.

La superficie et le volume des retenues doit être en rapport avec les masses d'alluvions qu'on veut repousser, avec leur ténacité, et avec la grosseur des matériaux qui les forment. La vitesse étant un autre élément de la puissance des chasses, la grandeur des retenues doit aussi se combiner avec la hauteur de la marée.

Insuffisance du calcul sur les effets des chasses,

Il est impossible de donner des règles qui établissent les relations entre ces éléments de la puissance et ceux de la résistance; on ne peut que s'appuyer sur les exemples connus qui ont le plus de similitude avec le problème qu'on a à résoudre.

et même sur l'écoulement seul.

La partie de ces recherches qui semble susceptible de calcul, c'est-à-dire les différentes circonstances de l'écoulement, ne peut encore donner lieu qu'à des approximations incertaines; ces mouvements étant loin de se rattacher aux écoulements réguliers qui jusqu'à présent ont fait le sujet des expériences connues, et recevant beaucoup d'influence des localités diverses pour chaque port. Tout ce que nous pouvons faire est donc de présenter le tableau des dimensions des bassins de retenue, des écluses de chasse, des hauteurs des retenues, etc., etc.

Données approximatives sur les écluses de chasse des ports ci-dessous.

(*Nota.* Le débouché des pertuis est plus petit que leur largeur à cause de l'obliquité des portes, de leur épaisseur, etc., etc.).

NOMS DES PORTS.	DISTANCE des pertuis à la tête de la jetée la plus longue.	SUPERFICIE des retenues.	NOMBRE de pertuis.	LARGEUR ensemble des pertuis.	HAUTEUR DE LA RETENUE		VITESSE à la tête des jetées.	OBSERVATIONS.
					sur le radier de l'écluse.	sur la mer basse de vive eau.		
	mètres.	hectares.						
Ostende, 1°.	1400	28	2	12m,00	4m,20	4m,88	3m,50	Écluse Raffeneau. La retenue ne se remplit pas en une marée.
Ostende, 2°.	1400	50?	4	28 ,00	6 ,83	4 ,83	3 ,50	Écluse militaire *.
Dunkerque	1100	31	6	20 ,60	4 ,50	5 ,00	3 ,50	La grande écluse seulement.
Gravelines.	3600	15	1	6 ,00	3 ,50	5 ,40		
Calais.	820	40?	4	13 ,60	5 ,60	5 ,80	»	La nouvelle écluse seulement.
Douvres.	300	6,5	4	6 ,70	4 ,50	5 ,00	»	Non compris les tuyaux.
Boulogne.	1740	60	1	6 ,00	4 ,00	8 ,17	»	La retenue ne s'emplit pas dans une marée.
Le Tréport.	540	16	2	14 ,20	3 ,90	4 ,70		
Dieppe.	1000	34	3	18 ,60	5 ,00	7 ,50	2 ,50?	
Saint-Valery-en-Caux. . .	680	6	2	12 ,00				
Fécamp.	480	28	2	10 ,00	2 ,80	4 ,93	2 ,60	
Le Havre.	380	8	2	11 ,70	5 ,80	6 ,70	2 ,50	L'écluse de la Floride seulement.

* Quand l'écluse de Slykens est ouverte, la retenue est le canal de Bruges à Ostende, qui a de 30 à 70 mètres de largeur à la ligne d'eau, et 20 kilomètres de longueur; il est difficile d'assigner la portion qui participe aux chasses.

CHAPITRE XVI.

DES ÉCLUSES DE CHASSE.

Les écluses de chasse sont des pertuis plus ou moins grands, plus ou moins nombreux où sont placées des vannes ou portes destinées à s'ouvrir le plus promptement possible; elles offrent beaucoup d'analogie pour le mouvement des eaux avec les pertuis des rivières. Des écluses de chasse.

Les fondations de ces écluses et de leur radier demandent des précautions particulières, à cause de la grande pression qu'elles supportent, des violents courants qui ont lieu autour d'elles et des profonds affouillements qui en sont la conséquence. Il doit donc y avoir des arrière-radiers et des garde-radiers. Fondations.

Ces constructions sont très-coûteuses, et si l'efficacité des chasses demande que le débouché soit le plus grand possible, l'économie engage à le réduire. Le minimum de réduction est d'ailleurs déterminé par cette condition que le débouché des pertuis doit être suffisant pour le remplissage complet du bassin de retenue pendant le temps d'une marée montante. Pour cet écoulement de la mer dans la retenue, comme pour celui de la retenue dans le chenal, on est obligé de consulter plutôt les exemples semblables que le calcul. Minimum du débouché.

Il suffit d'examiner les profils en long du fond du canal au-dessus et au-dessous des écluses de chasse, pour reconnaître que les garde-radiers sont des accessoires indispensables de ces ouvrages, et bien que la mer ne s'élève que graduellement, quand elle rentre dans les retenues, elle n'en produit pas moins d'effet en amont de ces écluses; ainsi cette partie doit être défendue comme l'aval; je donnerai quelques exemples de ces profils. Affouillements en aval et en amont des écluses de chasse.

La fig. 263 fait voir les affouillements qui se sont formés à l'écluse de chasse de Boulogne, affouillements qui vont jusqu'à six mètres au-dessous du terrain primitif, et qui sont éloignés de vingt mètres du garde-radier d'amont et de dix mètres de celui d'aval. Exemple à Boulogne,

à Calais,

La fig. 271 est le profil du terrain en aval de l'écluse de chasse de Calais après les vingt-trois premières chasses, l'affouillement est de $4^{m},70$ au-dessous du seuil de l'écluse et éloigné de 15 mètres du garde-radier d'aval.

au Tréport,

La fig. 272 est le profil en long en aval de l'écluse de chasse du Tréport, qui est fondée, partie sur la craie et partie sur un banc ferme de galets mêlés de sable. L'affouillement dans la craie a été de $1^{m},80$, immédiatement à l'aval de la file de pieux jointifs du garde-radier qui a vingt mètres de longueur.

Au Havre, à Dieppe, à Fécamp, à Saint-Valery, les affouillements dans le banc de galets agglutinés par la vase sont de quatre et cinq mètres.

à Ostende,

A Ostende, à soixante mètres en aval de l'écluse militaire, il s'est formé un affouillement de $7^{m},50$ au-dessous du radier de l'écluse. Le terrain est un sable serré un peu vaseux.

à Terreneuse.

A Terreneuse, les chasses des portes à éventail (*fig.* 269), donnant passage à l'eau d'amont sur toute la largeur de l'écluse, ont produit un affouillement de huit mètres au-dessous de mer basse; le terrain est un sable fin et ferme. On a dû pourvoir à la sûreté des fondations par l'échouage de radeaux en fascines chargés de grosses pierres.

Les affouillements dépendent évidemment de la hauteur de la chute et de la nature du terrain attaqué. On ne peut indiquer aucune règle pour déterminer les dimensions du radier des écluses de chasse; mais d'après les faits connus, on ne peut guère donner moins de deux mètres d'épaisseur à ces radiers, ni moins de vingt à trente mètres de longueur aux garde-radiers.

Épaisseur et longueur des radiers.

Ces derniers ont été souvent formés de pieux et grillages remplis de glaise et recouverts de planchers. Telle était l'ancienne construction; mais l'expérience a appris qu'il fallait renouveler fréquemment la glaise, et qu'elle ne pouvait plus tenir dès que les planchers étaient un peu détériorés. Le perfectionnement moderne des mortiers hydrauliques donne la possibilité d'avoir partout d'excellent béton qui remplacera la glaise avec avantage.

Il sera très-important de supprimer les grillages et les pieux; on ne conservera de ces derniers que ceux qui porteront les traversines servant à fixer les madriers placés en long dans le sens du courant. On conservera aussi les files de palplanches ou de pieux jointifs en travers de l'axe de l'écluse.

Fermeture des écluses de chasse. Par des vannes.

Il y a divers modes de fermeture des écluses de chasse.

On a employé des vannes à coulisses qui ont jusqu'à cinq mètres de largeur et sept mètres de hauteur; elles peuvent être formées d'un châssis dont les montants extrêmes portent les coulisses, et dans lesquels s'assemblent des madriers ou de petites poutrelles horizontales jointives dont les bouts glissent dans les rainures et qui sont maintenues par des moises verticales. Ordinairement les rainures sont pratiquées dans les montants d'un châssis extérieur dont la traverse inférieure forme le seuil de la vanne. Ces dernières pièces sont encastrées dans la maçonnerie et affleurent les parois intérieures des pertuis. Ces vannes étaient manœuvrées avec des treuils horizontaux et un système

de cordes et de mouffles, avec des crémaillères et des cries, avec une vis mobile formant la queue de la vanne et un écrou fixe.

Les fig. 233, 235, 236 donnent les plans, coupes et élévations d'une vanne, mue par une vis mobile et un écrou fixe, qui ferme les aqueducs latéraux de l'écluse du premier bassin d'Anvers; la vis (*fig.* 232) est en bois d'orme et de $0^m,22$ de diamètre. L'écrou, également en bois d'orme (*fig.* 231 et 234), est retenu dans un mouvement circulaire horizontal par un cercle en fer qui s'emboite dans deux demi-cercles en cuivre réunis par des clavettes dont les fig. 237, 238 et 239 font voir l'agencement. Le cercle en fer est lié par des boulons à écrou, et les demi-cercles en cuivre à des points absolument fixes; dès lors la vanne peut être poussée dans les deux sens, ce qui est important pour la presser contre le seuil quand on la ferme. à l'écluse d'Anvers.

La vanne était mue au moyen de quatre leviers en bois placés dans les mortaises de l'écrou (*fig.* 231).

Il fallait au moins huit hommes pour la manœuvrer; ils mettaient de huit à dix minutes pour la lever d'un mètre et demi, sous une pression de 4 mètres au-dessus du seuil.

Les défauts de ces vannes, dont la pression et le frottement opposent une forte résistance, sont d'exiger un grand nombre de bras pour être mues à la fois, et d'être d'une manœuvre lente, de sorte que les tranches supérieures des retenues sont écoulées avant que les vannes soient entièrement levées; on n'obtient donc point le maximum d'effet que la retenue et les orifices peuvent procurer; c'est là un grave inconvénient. Aussi les vannes à coulisses ne sont plus employées aujourd'hui que dans les aqueducs, et comme moyens accessoires; dans les écluses de chasse proprement dites, on a adopté les portes tournantes. Leurs inconvénients. Ne s'appliquent qu'aux aqueducs.

La rotation des portes tournantes a lieu sur un poteau vertical. Le passage ou pertuis est fermé par une seule porte isolée, ou par deux portes couplées manœuvrant ensemble. Chaque ventail est divisé en parties d'inégale largeur par le poteau tournant, de sorte que la seule pression de l'eau suffit pour ouvrir spontanément la porte, quand on a retiré l'obstacle contre lequel s'appuie le plus grand côté; d'autres fois, il y a moins d'inégalité entre les deux ailes, et on facilite la manœuvre par le jeu de ventelles qui diminuent la pression du côté où on en a levé une. Tel est, en général, le principe des portes tournantes, mises en pratique pour la première fois, en Hollande, il y a 250 ans. Par des portes tournantes.

Lorsque le passage est formé par deux portes tournantes couplées, les deux grands côtés s'appuient sur un poteau tournant, qui occupe le milieu du passage (*fig.* 269 *bis*). Une des dimensions de cette pièce étant moindre que l'intervalle qui sépare les deux portes, et l'autre plus grande, en faisant faire un quart de rotation à ce poteau avec un treuil, les deux portes échappent et s'ouvrent en même temps. Lorsque la mer rentre dans la retenue, elle fait tourner les portes en sens contraire, et l'eau monte dans le bassin. Pendant ce temps, l'éclusier remet le poteau dans la première position; dès que la Portes tournantes couplées.

mer descend, l'eau qui commence à sortir du bassin ferme les portes d'elles-mêmes, et la retenue s'opère.

On conçoit que le poteau peut servir également à retenir l'eau de la mer haute, et l'empêcher de rentrer dans le bassin, si cela était jugé nécessaire.

Dans les portes tournantes simples, on a imaginé pour appui mobile du grand côté le système de deux poteaux verticaux *a* et *b* (*fig.* 205 *bis*) unis par des triangles de fer tournant à leur jonction sur les poteaux, de manière à permettre à ceux-ci de s'éloigner ou de se rapprocher, sans cesser d'être parallèles.

Le poteau *a* est fixe et fortement encastré dans un renfoncement du bajoyer. L'autre, *b*, est mobile; on le rapproche du premier quand on veut ouvrir la porte, et il la laisse tourner. Quand on veut qu'elle reste fermée, on l'applique contre elle et il la soutient. Un mécanisme ingénieux rapproche ou éloigne les poteaux au moyen d'une seule vis en fer de huit centimètres de diamètre. Ce système a été appliqué au Havre, à Dieppe, etc.

Poteaux tournants des bajoyers.

On emploie aujourd'hui un moyen plus simple pour soutenir les deux extrémités d'une porte tournante isolée. Les deux poteaux d'arrêt sont *tournants*. Ce sont deux cylindres verticaux dont on a retranché un segment par un plan vertical contre lequel vient s'appuyer la porte, et qui, selon le sens où il est tourné, s'oppose à la pression de l'eau du bassin ou à celle de la mer haute.

Un levier de $1^m,50$ suffit pour faire mouvoir chaque poteau tournant.

Porte tournante à Boulogne.

Pour mieux faire connaitre le système et la construction d'une porte tournante à un seul ventail, je donnerai quelques détails sur celle de l'écluse de chasse de Boulogne (*fig.* 242, 243, 243 *bis*, 251).

La porte a $6^m,44$ de largeur, le débouché ayant $6^m,53$, il y a environ cinq centimètres de jeu de chaque côté. L'axe du poteau-tourillon divise la porte en deux ailes, l'une de $4^m,13$, l'autre de $2^m,31$.

La charpente est composée de 2 poteaux butants, d'un tourillon, et de sept montants intermédiaires, fortement moisés en haut et en bas, bordés des deux côtés par des madriers horizontaux de six centimètres d'épaisseur assemblés à recouvrement (*fig.* 256), fixés à chaque poteau par un boulon, et portant sur une large feuillure des poteaux extrêmes (*fig.* 254, 255 et 258).

L'épaisseur de la porte, dont la section horizontale (*fig.* 243 *bis*) offre la forme d'une navette, est de $0^m,55$ dans le milieu, réduite à $0^m,30$ et $0^m,32$ aux extrémités.

Le seuil (*fig.* 264) est formé de cinq pièces de bois assemblées avec treize boulons. Le dessus est en dos d'âne. L'arête du milieu touche presque le bas de la porte. Les poteaux butants s'appuient contre deux poteaux tournants demi-cylindriques *ab* (*fig.* 241, 242, 251) d'où dépend le jeu de la porte; la porte étant fermée, ont voit leur position (*fig.* 243 *bis*).

Ces poteaux, retenus à la tête par des colliers scellés aux bajoyers, portent à leur

pied le pivot de rotation dont on voit les détails (*fig.* 244, 247, 248, 249 et 250). La crapaudine (*fig.* 252, 253) est fixée au radier.

Le poteau de rotation de la porte tourne en haut dans la charpente du pont de service. A son pied est encastrée la crapaudine renversée (*fig.* 259, 260, 261, 262). Le pivot (*fig.* 240, 245, 246) est fixé au seuil.

La porte est saisie à la tête du poteau butant du grand côté par un cordage qui, passant sur des poulies de renvoi, s'enroule autour d'un cabestan R (*fig.* 251), lequel sert à modérer le mouvement de la porte, à la mettre dans une bonne direction, et à la fermer à la fin de la chasse ou même un peu avant.

Le poteau tournant *b* (*fig.* 251 et 257) sur lequel s'appuie le grand côté de la porte fermée est retenu dans sa position par un levier *bi* qui le traverse, et qui est retenu lui-même par un croc *d* (*fig.* 257) engagé dans un autre croc *x* fixé à la lisse du garde-fou du pont de service *mn* (*fig.* 251 et 257). Le croc *x* peut quitter le croc *d*, quand on ouvre le verrou *h*, parce que alors le levier *hx* peut tourner. Le croc *d* étant dégagé, le poteau tournant cède à l'impulsion de la porte et lui permet de s'ouvrir. L'inspection de la figure fera comprendre ce mécanisme qui est simple et fort expéditif.

Quand on veut ouvrir la porte, on commence par ranger dans son enclave le poteau tournant, sur lequel s'appuie la petite aile, puis un seul homme ouvre le cadenas, tire le verrou, et la porte exécute son mouvement de rotation.

J'ai vu l'ouverture s'opérer en trois ou quatre secondes; c'est presque instantanément. La porte s'arrête d'elle-même à la position qu'elle doit occuper. Comme toutes les portes tournantes, elle oscillait pendant l'écoulement, mais très-peu.

Elle se tenait inclinée sur l'axe du pertuis en formant avec lui un angle de sept degrés. Trois hommes au cabestan ont eu beaucoup de peine à la placer parallèle à cet axe; abandonnée à elle-même, elle revenait à sa première position biaise. Toutefois, c'est une des portes tournantes que j'ai vu se rapprocher le plus de ce parallélisme.

On a cherché à l'obtenir par les proportions de grandeur des deux ailes qu'on a fait varier entre les limites de 3/2 et 8/7. Mais les oscillations qu'éprouvent toutes les portes tournantes, et quelques exemples que je citerai plus loin, indiquent que le problème n'a pas de solution bien déterminée; d'ailleurs les vannes qu'on pratique aujourd'hui dans les ailes changent la question.

Portes tournantes couplées d'Ostende.

L'ancienne écluse de chasse d'Ostende me servira d'exemple pour une porte tournante à deux ventaux. Cette écluse a deux passages, l'un fermé par une seule porte tournante, l'autre par une porte à deux ventaux couplés, dont on voit l'élévation et le plan dans la figure 211.

Le pertuis ou passage a six mètres de largeur. Un fort poteau tournant occupe le milieu; les ventaux s'appuient sur lui et sur de petits poteaux demi-cylindriques tournant dans des enclaves des bajoyers et semblables à ceux de la porte de Boulogne que j'ai décrite.

Les ventaux n'ont point de bordages; chacun d'eux, de 2^m,78 de largeur, est formé de sept montants verticaux, y compris le tourillon et les deux poteaux butants, ayant de 0^m,20 à 0^m,28 d'épaisseur, s'assemblant à languette et rainure, et liés par des ferrures. Ils sont solidement maintenus en haut et en bas par deux fortes moises, rapprochées par huit boulons, et assemblées par redans avec les montants.

Le tourillon divise le ventail en deux ailes, qui ont 1^m,82 et 0^m,96 de largeur. Il tourne en bas sur un pivot dont la crapaudine est scellée dans le radier, et en haut dans la charpente du pont de service qui embrasse sa tête circulaire.

La rotation du poteau tournant au milieu du pertuis est assurée de la même manière.

Lorsque la porte est fermée, les deux poteaux butants, en regard l'un de l'autre, laissent entre eux un intervalle d'environ 0^m,36. Cet espace étant plus petit que la largeur du poteau du milieu du passage et plus grande que son épaisseur, il est facile de voir comment on peut ouvrir la porte.

On commence par faire rentrer dans leurs enclaves les deux poteaux tournants des bajoyers *a* et *b*, les deux ventaux n'ont plus pour appui que le poteau tournant du milieu *c*, qui leur oppose sa plus large dimension. Agissant par un cordage à l'extrémité du levier de fer *n m*, on fait faire un quart de conversion au poteau *c* qui, ne présentant plus aux ventaux que sa petite épaisseur, les laisse échapper, tourner ensemble, et la porte est ouverte.

Lorsque j'ai vu jouer cette porte, les deux ventaux se sont arrêtés en se tenant un peu inclinés sur l'axe du pertuis, l'un plus que l'autre, mais tous deux du même côté, de sorte qu'ils étaient presque parallèles (*fig.* 266 *bis*).

Les ventelles qu'on a adaptées aux portes tournantes donnent la faculté de les fermer contre la pression et d'arrêter la chasse à volonté en cas d'accident aux ouvrages ou aux navires. Dans ce cas, il faut un cabestan et des cordages qui saisissent la porte à ses extrémités.

Porte tournante avec ventelle, de Gravelines.

Voici les détails de cette disposition pour la porte tournante de Gravelines. Les fig. 219, 226 et 227 représentent l'élévation, le plan et la coupe de cette porte lorsqu'elle est fermée et supportant la pression de l'eau.

Le poteau-tourillon tourne au moyen d'un pivot et d'une crapaudine scellée dans le radier, et d'un demi-collier fixé à une charpente, fortement encastrée dans les bajoyers. Il divise la porte en deux ailes, qui ont l'une 3^m,20 et l'autre 2^m,76 de largeur; la largeur de l'écluse est de 6 mètres.

Les deux poteaux butants peuvent s'appuyer sur deux poteaux tournants demi-cylindriques logés dans les enclaves de la maçonnerie.

Dans la grande aile sont pratiquées deux vannes de 1^m,10 sur 0^m,96 chacune, avec crémaillère et cries, et pouvant être manœuvrées par des hommes du dessus de la porte.

Veut-on ouvrir la porte, on commence par lever les vannes, la pression sur la grande aile diminue graduellement, elle devient bientôt égale à celle qui s'exerce sur la petite aile; puis elle lui devient inférieure et tellement que, quoique aidée du frottement, elle ne pourrait maintenir l'équilibre si le poteau d'arrêt *a* n'empêchait pas le mouvement. Dès qu'on l'a rangée dans son enclave, la porte s'ouvre; on peut modérer son mouvement par le jeu des vannes et au moyen de cordages qui la retiennent. On range le poteau tournant *b* dans son enclave, et l'écoulement s'opère librement.

Veut-on fermer la porte au milieu d'une chasse, on commence par remettre le poteau tournant *b* dans sa première position, ensuite au moyen des cordages qui retiennent la porte dans son mouvement, on la ramène en biais de manière à ce que la grande aile soit un peu frappée par le courant du côté des vannes; alors on les baisse, et la pression de ce côté de la porte reprenant sa prédominance, la porte achève de se fermer contre le poteau tournant *b*, après quoi on remet le poteau tournant *a* dans sa première position pour soutenir la petite aile et en diminuer la fatigue.

J'ai vu à Nieuport une porte tournante fermant un passage de 5 mètres de largeur et semblable à celle de Boulogne, mais qui se manœuvrait à tout instant de la marée au moyen de deux vannes placées aux extrémités des ailes, l'une à droite, l'autre à gauche de l'axe de rotation.

Lorsque les écluses de chasse sont rapprochées de l'entrée du chenal et exposées au choc des vagues, il est bon de les en garantir par des portes de flot établies en aval dans les pertuis (le Havre, Dunkerque).

Chasses par aqueducs latéraux à une écluse.

Lorsqu'on se sert des bassins à flot pour ajouter à l'effet général des chasses, celles du bassin s'opèrent par des aqueducs latéraux pratiqués dans les bajoyers de l'écluse. Comme dans ce cas on ne peut laisser écouler qu'une tranche supérieure d'une faible hauteur, il faut avoir la possibilité d'arrêter la chasse, ce qui a fait généralement préférer les vannes à coulisses pour moyen de fermeture; mais on a quelquefois réuni les vannes et les portes tournantes. Ainsi, au Havre, à l'écluse de la Barre, il y a des portes tournantes avec lesquelles on commence la chasse en les ouvrant subitement, puis on l'arrête avec des vannes.

Inconvénient.

Ces chasses latérales ont l'inconvénient de produire un contre-courant dans l'axe du chenal qui ramène les sables et vases contre l'écluse; il les accumule sur le radier et le garde-radier, s'ils sont un peu bas; ces matières gênent la manœuvre des portes et le passage des navires qui trouvent moins de profondeur dans l'endroit où ils en exigent le plus, c'est-à-dire sous la quille; aussi les Hollandais, dont les écluses sont toujours couvertes de plusieurs pieds d'eau à mer basse, à cause de la faible amplitude de leurs marées, ont-ils cherché et trouvé des moyens de chasser dans le passage même de l'écluse.

Convergence des directions des aqueducs.

Toutefois, avant d'arriver à ces moyens, ils avaient perfectionné les aqueducs : 1° en faisant converger leur direction avant la sortie des bajoyers, de manière à ce que les deux courants se rencontraient plus près de l'écluse; 2° en prolongeant le radier

des aqueducs en plan incliné au delà des bajoyers, ce qui détruisait la cataracte de sortie et ajoutait par conséquent à l'effet des chasses.

La convergence des aqueducs existait à l'ancienne écluse de Flessingue à peu près comme l'indiquent les lignes ponctuées *m m* (*fig.* 175). Je n'ai pas cru pouvoir conserver cette disposition dans l'écluse restaurée, qui a été élargie de trois mètres; mais j'ai conservé les plans inclinés *n n* (*fig.* 174 et 175) à la sortie des aqueducs.

Chasse dans l'axe des portes d'ebbe.

Pour chasser dans l'axe même des écluses des bassins à flot, on a placé des portes tournantes dans le châssis des grandes portes d'ebbe.

Avec portes tournantes enchâssées.

On a d'abord fait des ventaux tournants qui occupaient tout l'espace intérieur du châssis des ventaux fixes, comme à l'écluse de Mardick qui avait 14^{m},30 de passage. Malgré les grandes précautions qu'on prenait pour les ouvrir lentement au moyen de ventelles, et dont la négligence avait produit leur rupture subite, on a reconnu que ces portes très-fatiguées étaient de peu de durée, et qu'on devait donner au ventail tournant des dimensions bien moindres que celles du ventail fixe.

Toutefois, la durée de ces portes dépend beaucoup des soins qu'on apporte à leur construction. Smeaton rapporte qu'il a vu en 1755, à l'écluse d'Hellevoet-Slhuys, de 14^{m},60 de largeur, des portes d'ebbe avec portes tournantes enchâssées qui avaient alors trente-trois ans d'existence, et qui étaient encore en très-bon état; il est vrai qu'elles étaient très-fortes et qu'elles avaient été supérieurement bien construites.

Les petites dimensions relatives des portes tournantes enchâssées ne sont pas une garantie certaine des accidents, quand il y a d'autres défauts; ainsi les premières portes enchâssées de l'écluse militaire d'Ostende (*fig.* 210), et qui n'ont que la moitié de la hauteur des grandes portes qui les contiennent, ont été emportées dès les premières fois qu'elles ont joué; et celles qui les ont remplacées durent depuis bien des années. Tout récemment, les portes tournantes de l'écluse de chasse de Calais, qui ne sont pas le quart de celles dans lesquelles elles sont enchâssées, ont été également emportées dans les premières chasses et ont cependant bien manœuvré depuis.

D'un autre côté, les portes enchâssées de l'écluse de la Cunette à Dunkerque (*fig.* 220), qui occupent presque toute la superficie du châssis des portes qui les contiennent, ont duré bien des années.

Nous devons conclure de ces faits que les portes enchâssées étant exposées à des mouvements brusques, qu'on doit modérer autant que possible, exigent en outre des soins extrêmes dans leur construction.

Portes enchâssées d'Ostende.

Les fig. 210 et 213 font voir un ventail de la porte d'ebbe de l'écluse militaire d'Ostende, dans lequel joue une porte tournante.

L'écluse a trois ouvertures : les deux premières sont chacune de six mètres de largeur et fermées avec une seule porte tournante. La troisième, qui a 12 mètres de passage, est fermée avec des portes d'ebbe et de flot (*fig.* 218).

La porte tournante occupe presque la moitié de la hauteur d'un ventail de la porte d'ebbe, et toute la largeur entre le poteau busqué et le poteau tourillon.

Elle tourne sur des pivots dont on voit les détails dans les figures 214, 215 et 216; l'axe de rotation sépare la porte en deux ailes dont les largeurs sont à peu près dans le rapport de trois à deux.

Un grand valet *aa*, tournant sur des gonds *bb*, placé en aval, sert d'appui à la grande aile de la porte tournante quand elle est fermée; un verrou (qui n'est pas dessiné) retient le valet. Lorsqu'on le tire, le valet cédant à la pression de la grande aile tourne sur ses gonds et vient s'appliquer contre l'enclave de la porte busquée. De son côté la porte tournante effectue sa rotation; lorsqu'elle s'arrête elle n'est, ni parallèle à l'axe de l'écluse, ni d'équerre au plan des portes avec lequel elle fait un angle d'environ 85°, de sorte que sa direction se rencontre en aval avec celle de la porte tournante de l'autre ventail (*fig.* 218 et 209).

La charpente de la grande porte busquée est très-forte; cependant, malgré l'équarrissage des pièces, extraordinaire eu égard à la largeur de l'écluse, les poteaux busqués ont baissé de cinq à six centimètres. Cet affaissement ne doit pas surprendre, puisque la position des portes tournantes empêche de mettre un nombre suffisant d'entretoises et d'employer le système triangulaire des bracons. Quant aux écharpes, on voit qu'elles ont une inclinaison peu favorable à l'effet qu'on en attend.

Portes enchâssées de Dunkerque.

Les figures 220, 228, 229 et 230 représentent un ventail de la porte de l'écluse de la Cunette à Dunkerque dans lequel est une porte tournante; celle-ci diffère de la précédente en ce que l'axe de rotation est presque au milieu de la porte, et en ce que la manœuvre s'opère au moyen de deux ventelles ouvertes dans l'aile la plus grande, ce qui permet d'arrêter l'écoulement quand on le veut. La porte est d'ailleurs maintenue au repos par une espagnolette en fer au lieu d'un valet en bois, et qui sert par son appui à diminuer la fatigue de l'aile opposée aux ventelles.

Quand on veut faire une chasse, on rend libre l'espagnolette *mm* (*fig.* 220), en lâchant le loquet *b*, fixé à la traverse supérieure de la porte busquée; on lève les ventelles de l'aile la plus large. La pression sur l'aile opposée devenant prédominante, celle-ci pousse les pannetons *xx* de l'espagnolette, et rien ne retenant la porte elle s'ouvre complétement.

Si ces portes tournantes étaient libres, vraisemblablement elles s'arrêteraient dans une position telle que leurs directions convergeraient en aval, comme nous l'avons vu pour celles d'Ostende; mais à Dunkerque, de fortes chaines *cd* (*fig.* 221), fixées aux poteaux busqués, empêchent le mouvement complet et arrêtent les portes tournantes dans des directions qui convergent en amont.

Lorsqu'on veut fermer les portes au milieu d'une chasse ou avant la fin, on baisse les ventelles; la pression de ce côté, redevenant prédominante, ferme la porte tout doucement.

Je n'ai pas vu ce mouvement s'opérer complétement; il fallait l'achever au moyen de palans frappés au poteau butant de la porte tournante et manœuvrés par des hommes. La fermeture s'opère moins bien à la fin des chasses que sous de fortes charges, et même, dans ce dernier cas, il arrive quelquefois que l'une des portes se fermant la première, le courant qui s'établit par l'autre prend une direction qui l'empêche de se fermer. C'est pour obvier à ces incertitudes que ces portes sont toujours armées de palans avec lesquels on aide leur jeu.

Les portes busquées de l'écluse de la Cunette ne paraissent point avoir éprouvé les mêmes changements de formes que celles de l'écluse militaire d'Ostende. Les équarrissages de la charpente ne sont cependant pas plus forts. Mais on doit remarquer que l'écluse de la Cunette, ayant même hauteur, n'a que dix mètres de largeur, et qu'elle a un bracon qui, quoique fort incliné, ajoute à la rigidité.

Par une seule porte tournante.

On a exécuté des fermetures plus simples ; c'est un seul ventail de toute la largeur de l'écluse retenu contre un poteau tournant en aval comme ceux de barrages mobiles des rivières.

Ce procédé ne peut être appliqué qu'aux écluses qui conservent en aval une certaine quantité d'eau à mer basse quand on chasse; car si le radier découvrait, le ventail poussé avec violence se briserait contre le bajoyer. Mais s'il y a de l'eau, la portion comprise dans l'angle formé par le ventail et le bajoyer n'étant point chassée parallèlement au chenal, mais poussée en partie dans l'enclave où elle ne trouve pas d'issue, s'y élève plus haut que dans la retenue et détruit une partie de poussée de l'eau d'amont.

Par deux portes busquées opposées.

On a aussi employé deux paires de portes busquées en sens contraire, opposées et se touchant à leur sommet (*fig.* 132); celles d'amont pénètrent un peu dans celles d'aval. Quand on veut ouvrir les portes d'ebbe *bb*, on ferme les vannes *mm* et on ouvre les vannes *dd;* les aqueducs communiquant avec l'aval, les espaces *cc* se vident; les portes *aa* s'écartent et forcent les portes *bb* à s'ouvrir; elles se rangent toutes les deux dans les enclaves en se recouvrant, et l'écoulement a lieu.

Veut-on l'arrêter; on ferme les vannes *dd*, on ouvre les vannes *m m*, l'eau d'amont arrive contre les portes *b b* qu'elle presse, celles-ci poussent les portes *a a*, les espaces *cc* se remplissent et les portes *bb* ferment complétement l'écluse.

Par des écluses à éventail.

Le système le plus usité aujourd'hui en Hollande est celui qu'on appelle en Belgique écluse *à éventail* (*fig.* 270). Il consiste à ajouter à chaque ventail des portes d'ebbe ordinaires un autre ventail plus long d'un cinquième environ, solidaire avec lui, et ayant le même poteau tourillon. Dans l'état habituel, ce grand ventail est dans la direction du bajoyer. Derrière lui se trouve un vide angulaire tel, qu'en faisant tourner le système, les portes ordinaires arrivent dans l'alignement des bajoyers. Des aqueducs pratiqués dans les massifs des maçonneries, et munis de vannes, débouchent dans l'espace angulaire, et le font communiquer avec l'amont ou l'aval. Dans le premier cas, l'écluse est fermée ; dans le second, la pression contre le grand ventail étant prédomi-

nante, entraine le système et ouvre l'écluse. Une manœuvre contraire la ferme et arrête la chasse.

La vitesse de rotation dépend de celle de la manœuvre des vannes, qu'un seul homme conduit de chaque côté de l'écluse, on peut donc la modérer à volonté. Il doit n'y avoir que très-peu de jeu entre le grand ventail et le radier et les murs circulaires formant la cage où il se loge. Ce procédé a été appliqué à de grandes écluses.

J'entrerai dans plus de détails, en décrivant l'écluse de Terreneuse, dont la figure 270 est le plan, la figure 269 la coupe en long, et la figure 273 la coupe en travers. Écluse à éventail de Terreneuse.

Le plan, qui contient seul les portes, les représente dans le moment où elles sont ouvertes, et où l'écoulement a lieu.

mn est le ventail de la porte d'ebbe ordinaire;

mi est un ventail plus grand qui a le même poteau tourillon *m*, et qui se meut dans la cage cylindrique *hhh*;

abcd est un système d'aqueducs un peu au-dessous du niveau de mer basse, et établissant à volonté la communication avec l'amont ou l'aval de l'écluse, au moyen des vannes *a* et *c*. L'aqueduc *g* est étranger à la manœuvre de la porte à éventail, et doit être considéré comme toujours fermé.

Dans l'état représenté par la figure 270, la vanne *c* est fermée, et la vanne *a* est ouverte.

Supposons qu'on veuille arrêter l'écoulement et fermer la porte. On baisse la vanne *a* et on lève la vanne *c*. Alors l'eau d'amont arrive en *b*, remplit l'espace triangulaire *t*, presse la face du grand ventail de ce côté, le pousse dans la cage *hh*, où l'eau est à la hauteur d'aval, le fait arriver dans l'alignement du bajoyer, tandis que le ventail *mn* arrive contre le busc; comme les mêmes mouvements ont lieu pour l'autre ventail, l'écluse est fermée.

Veut-on ouvrir la porte, on baisse la vanne c, et on lève la vanne *a*. L'eau de la cage cylindrique *thh* s'écoule par l'aqueduc *ab*, se met au niveau d'aval; l'eau d'amont presse donc le grand ventail pour le faire entrer dans la cage, et comme sa surface et son bras de levier sont plus grands que celui du petit ventail, l'écluse s'ouvre, et le système des deux ventaux se remet dans la position *nmi* de la figure 270.

Les portes à éventail se manœuvrent à des pressions très-faibles. J'ai vu les portes de Nieuport commencer et accomplir leur mouvement avec une différence de niveau de l'amont à l'aval de $0^{m},20$. Le mouvement, d'abord insensible, s'accélère, et diminue quelquefois lorsque la porte s'ouvre, parce que le mouvement acquis refoule l'eau dans la cage, où elle s'élève momentanément plus vite qu'elle ne peut sortir par l'aqueduc.

Le jeu entre le grand ventail et la maçonnerie de la cage, tant au radier qu'à la paroi verticale, n'est que d'un à deux centimètres.

Les figures 265, 266, 267 et 268 donnent les détails relatifs à la charpente d'une porte à éventail d'une écluse de dix mètres de passage. On y voit comment les deux ventaux sont rendus solidaires dans leurs mouvements par les pièces qui les lient. Le poteau tourillon commun tourne dans un collier retenu par trois ancres scellées dans les maçonneries. Il y a des portes qui ont des roulettes, d'autres qui n'en ont point.

Les portes tournantes entravent le mouvement de l'eau.

Bien que les portes tournantes des écluses de chasse se placent d'elles-mêmes dans la position qui contrarie le moins la sortie de l'eau, puisqu'elles sont libres, il s'en faut beaucoup que l'écoulement s'opère sans étranglement, sans tourbillons, sans tous ces mouvements tumultueux qui dénotent des contractions nuisibles au plus grand débit des orifices.

Les figures 197 et 198 représentent le plan et la coupe des divers mouvements de l'eau, rentrant dans la retenue par l'un des pertuis de l'écluse de chasse du Havre. L'eau se tenait plus élevée en *a* qu'en *m*, et en *n* qu'en *c*. Immédiatement en aval des portes, la partie supérieure du pertuis était occupée par un contre-courant agité; le principal courant avait lieu en dessous, et ne reparaissait à la surface qu'à l'aval de l'écluse.

La figure 200 représente le plan de l'écoulement par un des pertuis de l'écluse de Fécamp, pendant la première demi-heure d'une chasse. L'eau se tenait plus élevée sur toute la face des portes qui regarde l'axe du pertuis que sur la face du côté des maçonneries. On voyait le long de celles-ci, en amont, un tourbillon *m*, dont le centre en entonnoir était vide, et où l'eau dans le fond se tenait plus bas d'environ $1^m,30$ que dans toute l'eau adjacente. On y remarquait, comme dans l'exemple précédent, un contre-courant supérieur qui occupait toute la largeur du pertuis immédiatement à l'aval des portes, et sous lequel passait le courant principal qui se montrait au-dessous de l'écluse.

La figure 209 est le plan du mouvement de l'eau aux portes tournantes enchâssées de l'écluse militaire d'Ostende pendant une chasse.

J'ai déjà dit que j'avais vu les deux portes tournantes de l'autre écluse d'Ostende, fermant un seul passage de 6 mètres, restant très-peu inclinées sur l'axe du pertuis, et l'une plus que l'autre, mais dans un autre sens, de sorte qu'elles étaient presque parallèles, comme l'indique la figure 266 bis.

Les figures 201 et 202 représentent la coupe et le plan de l'écoulement de l'eau sortant du pertuis de l'écluse de Boulogne pendant la première demi-heure d'une chasse.

L'eau se tenait plus haute contre la face *ab*, du côté du grand passage, que sur l'autre face *cd*, de $0^m,15$ en amont et de $0^m,60$ en aval. On ne voyait qu'un contre-courant *h* en aval, et deux tourbillons *m* près de l'angle d'amont des bajoyers. Le cou-

rant principal, celui du grand passage, était un peu incliné sur l'axe de l'écluse comme la porte, et c'est ce qui produisait le tournant et le contre-courant *h*. Le courant du petit passage paraissait parallèle au bajoyer.

Des stries singulières, qui se croisaient comme celles d'ondes circulaires simultanées partant de centres différents, se faisaient remarquer dans la retenue. Elles semblaient indiquer que toute la masse en amont fournissait aux deux passages à la fois, comme si chacun d'eux eût été le seul orifice.

Ce que je viens de rapporter sur le mouvement des eaux dans les écluses à portes tournantes, les oscillations que ces portes éprouvent toujours, et qui viennent en grande partie des ondes que leur ouverture spontanée détermine dans le niveau des retenues, les ventelles qu'on y adapte souvent, les irrégularités des canaux d'amenée et de fuite, toutes ces causes, qui exercent une influence sur la direction des portes quand elles sont ouvertes, font voir qu'il est difficile d'obtenir leur parallélisme avec l'axe des pertuis et qu'il ne faut pas attacher trop d'importance à la proportion des ailes qui n'est qu'une des données du problème.

CHAPITRE XVII.

EXAMEN DE LA LONGUEUR DES JETÉES.

Examen plus approfondi de la longueur des jetées.

L'allongement successif des jetées, réclamé depuis quelques années pour plusieurs ports de l'Océan, et réalisé dans quelques-uns, donne lieu à une question d'art de la plus grande importance. L'allongement des jetées est-il un moyen certain d'augmenter la profondeur de la passe à l'extrémité d'un chenal?

Cette question trouvait sa place lorsque j'ai examiné la longueur des jetées; mais elle ne pouvait être traitée convenablement qu'après avoir parlé des chasses, avec lesquelles elle a une connexion immédiate.

L'allongement des jetées prolonge le courant des chasses,

Quand on allonge les jetées d'un port, que nous supposons être pleines au moins dans la partie inférieure, on prolonge l'effet des chasses dont le courant est contenu jusqu'à un point plus rapproché des parties profondes de la mer; on empêche ce courant de diverger et de s'épanouir, comme il le faisait, aux têtes des anciennes jetées, et cet effet est repoussé jusqu'aux extrémités du prolongement.

avec avantage avant la laisse de basse mer,

Dans le cas où les premières jetées n'atteignaient pas la laisse de basse mer, les nouvelles empêchent le courant de se répandre en éventail sur l'estran, et le resserrant dans le nouveau chenal, lui donnent pour la même section un plus petit périmètre mouillé, d'où résulte la plus grande vitesse possible ainsi que la plus grande action sur le fond.

produit peu d'effet au-delà,

Dans le cas où les premières jetées avaient déjà atteint la laisse de basse mer, le prolongement aurait lieu dans la mer, et l'action du courant sur le fond serait très-atténuée par l'inertie de la tranche d'eau existant dans le chenal au commencement de la chasse et par la rencontre de vagues plus fortes.

diminue la pente et la vitesse,

Dans les deux cas, d'ailleurs, la chute de la retenue étant répartie sur une plus grande longueur, conséquence nécessaire de l'allongement des jetées, la pente et la vitesse moyennes du nouveau courant sont plus faibles.

En général, dans les ports de la mer du Nord et de la Manche, les chasses peuvent à peine procurer dans le chenal, près des écluses de chasse, une profondeur de deux à trois mètres au-dessous des basses mers de vive eau ordinaire. Il n'est donc pas possible qu'avec les mêmes moyens de chasse, on obtienne des profondeurs égales à six ou sept cents mètres de ces écluses, ce qui est ordinairement la distance qui les sépare des têtes des jetées, et à plus forte raison au delà des jetées où le courant s'élargit.

Effectivement, quand on considère que les plus grands affouillements produits par les courants à l'aval des écluses, ne sont que de quatre à six mètres, quelle que soit la nature du sol, que cette profondeur se trouve à une cinquantaine de mètres des radiers, qu'à partir de là le lit du courant de chasse se relève assez fortement et même quelquefois est le lieu du dépôt des matières détachées d'amont, on a de la peine à croire que l'effet désiré au bout des jetées puisse jamais atteindre deux mètres, maximum de profondeur obtenue dans les parties plus en amont du chenal.

D'ailleurs, un autre phénomène, dont nous avons déjà parlé, se présente en dehors des jetées, c'est le relèvement du fond au-dessus de celui du chenal et quelquefois jusqu'au niveau de l'estran naturel, circonstance qui doit faire désespérer d'y obtenir jamais autant de profondeur que dans le chenal; car si d'un côté, en prolongeant encore les jetées jusqu'au relèvement, on pouvait, malgré un plus grand affaiblissement de la vitesse du courant et une plus grande résistance des eaux de la mer, espérer d'abaisser le relèvement, d'un autre côté, on doit craindre que le bourrelet ne se reforme un peu plus loin.

n'empêche pas les dépôts au delà des jetées.

Des ingénieurs pensent, il est vrai, qu'atteignant des profondeurs plus au large, ce dépôt ne pourrait persister, et serait balayé par le courant littoral qui y jouit de toute sa force.

L'observation ne paraît pas conforme à cette opinion; ainsi à Dunkerque et à Calais, les sables, emportés en dehors des jetées prolongées, sont restés en dépôt sur des points du fond primitif qui étaient à trois ou quatre mètres au-dessous de la basse mer, et où il n'y a plus aujourd'hui que 0,80 d'eau (*fig.* 162 et 195). On voit qu'effectivement si les courants parallèles à la côte ont entretenu la profondeur de trois à quatre mètres avant le prolongement des jetées, il peut n'en plus être de même, lorsque la nouvelle saillie apporte des perturbations dans la direction et dans l'intensité du courant littoral.

Les dépôts ne sont point emportés par le courant littoral.

Il est très-vraisemblable qu'il se forme, à la longue, autour de l'extrémité d'un chenal, où débouche le courant des chasses, des dépôts analogues à ceux qu'on remarque autour de la bouche des cours d'eau naturels dans la mer, et qui font une saillie sur la partie sous-marine de la côte. Le chenal du Havre, dont les chasses rejettent des sables et de la vase et ont rejeté du galet, en donne un exemple (*fig.* 114). Et si l'on veut examiner avec attention les cartes de la marine, on verra que la plupart des cours d'eau qui se jettent dans l'Océan, présentent ce phénomène à un degré plus ou moins prononcé.

Barre à la bouche des chenaux comme aux rivières.

Il ne semble donc pas qu'on doive attendre du prolongement des jetées, au delà de la laisse de basse mer, des résultats bien avantageux et surtout en rapport avec les grandes dépenses auxquelles entraîne ce prolongement; à moins qu'on n'ajoute encore à ces sacrifices, par la création de nouveaux moyens de chasse.

Prolongement des jetées de quelques ports.

La question du prolongement des jetées est si importante, elle est si souvent mise en avant pour l'amélioration des ports de l'Océan, qu'il m'a paru utile d'exposer les faits qui ont accompagné les prolongements entrepris dans quelques ports, d'autant plus que chacun d'eux offre des données particulières, qui rendent l'examen plus intéressant et plus instructif.

De Dunkerque.

Jetées de Dunkerque. Il est vraisemblable que dans les temps anciens le chenal de Dunkerque conservait sa profondeur sans être maintenu entre des jetées, à cause de la grande quantité d'eau qui s'y écoulait à mer basse, car encore aujourd'hui ces eaux sont assez abondantes pour produire un courant de superficie allant à la mer même pendant une grande partie du flot.

On voit par les anciens plans de Dunkerque de 1400, et encore par ceux de 1658, que les jetées étaient très-courtes. De 1677 à 1683, Vauban fit construire deux nouvelles jetées qui avaient près de 2000 mètres de longueur (*fig.* 194); elles avançaient à environ 400 mètres au-delà de la laisse des basses mers de vive eau ordinaire *ef*, comme il est facile de s'en convaincre par le plan de Vauban, de 1694, conservé aux archives de la guerre. Ce même plan indique aussi que déjà à cette époque, c'est-à-dire onze ans après la construction des jetées, la partie de l'estran contiguë aux jetées s'était avancée au large suivant deux courbes se raccordant avec l'ancien estran, et finissant aux têtes *d* et *b* des jetées (*fig.* 194).

Alors le chenal était parcouru par les courants alternatifs des marées qui couvraient des terrains de vingt à trente mille hectares, et il en résulte un approfondissement tel, que les frégates armées arrivaient dans le port.

On sait que ces jetées furent démolies et le chenal barré en 1714 et en 1763, par suite des traités d'Utrecht et de Versailles. Les restes, existant au commencement de ce siècle, avaient encore la saillie des jetées de Vauban, mais ils s'élevaient à peine d'un mètre au-dessus des basses mers. En 1821 on reconstruisit en partie les jetées, en les élevant au-dessus des hautes mers de vive eau; en même temps on établit une grande écluse de chasse qui devait approfondir le chenal, mais surtout la passe où le sable se tenait de près d'un mètre plus haut qu'entre les jetées.

L'effet produit par cette écluse ne répondit point entièrement à ce qu'on en attendait. Le courant des chasses, après avoir débouché des jetées, obliquait vers le nord-est, donnait en 1835 un chenal tortueux (*fig.* 188), et ne procurait au point culminant de la passe qu'une profondeur de $0^m,80$ à basse mer de vive eau (*fig.* 195, profil 1835).

On pensa qu'on remédierait à la déviation du chenal, en conduisant le courant entre deux jetées basses surmontées par des estacades; on se décida donc, en 1837, à

prolonger les anciennes jetées de 270 mètres; les quarante derniers mètres de celle de l'ouest inclinent vers l'ouest (*fig.* 187).

Après le prolongement, le chenal de la passe fut redressé, mais la profondeur ne fut augmentée que de $0^m,38$ (*fig.* 195, profil *mai* 1844).

La laisse de basse mer, qui s'était déjà avancée jusqu'à la tête des jetées de Vauban dès 1694 (*fig.* 194), avait continué son mouvement. En 1802 elle s'était avancée à gauche des jetées de près de 600 mètres; en 1836 l'avancement sur celui de 1802 fut d'environ 200 mètres; dans l'est, les mouvements furent moins prononcés et avaient même été rétrogrades depuis le prolongement.

Lorsque l'on considère avec attention les laisses des basses mers des différentes époques 1694-1733-1802-1836 et 1844, représentées dans la fig. 194, il est difficile de ne pas croire que la saillie des jetées exécutées par Vauban et depuis, n'ait pas beaucoup contribué à l'avancement de la côte, puisque la partie de l'estran voisine des jetées s'est toujours plus avancée que les parties qui en sont à quelques cent mètres.

On s'explique ces modifications de l'estran et l'influence exercée par les jetées quand on connait le régime de la côte entre Gravelines et Dunkerque. L'estran est deux fois plus large devant ce dernier port que devant le premier; il a deux pentes, l'une vers la mer, l'autre vers Dunkerque. Ainsi, à la mer descendante, l'eau qui reste dans les parties basses de cette plage tend à s'écouler de deux côtés; il en est résulté des ravins qui portent une partie des eaux vers Dunkerque; c'est cet écoulement parallèle à la mer, *m m*, fig. 188, appelé courant de Mardick, qui entraine avec lui les sables vers Dunkerque, et ce sont ces sables qui étant arrêtés par les parties pleines des jetées, descendent jusqu'à leur tête et forment les bancs qui obstruent la passe.

Si d'autre part on considère les profondeurs du chenal correspondant aux époques des ouvrages exécutés pour améliorer la passe, on voit par les plans de la marine qu'en 1821, avant le jeu de la grande écluse de chasse, le chenal déviait à l'est, et qu'il existait à 50 mètres des anciennes jetées un banc ou sommité à $0^m,70$ au-dessus des basses mers de vive eau (*fig.* 195, *profil ponctué* 1821). Qu'en 1833, après l'effet des chasses, cette intumescence du chenal avait été repoussée jusqu'à 270 mètres de jetées, et qu'elle vint recouvrir le terrain primitif du chenal. Cet état de choses existant depuis quatorze ans après l'usage des chasses, on doit en conclure que le courant littoral n'avait pu enlever les sables expulsés par les chasses, et que ce nouveau banc était l'effet combiné du régime des chasses et du courant littoral. C'est ce que démontre clairement l'inspection des profils ponctués portant les millésimes 1821 et 1835 (*fig.* 195), profils parfaitement comparables, puisqu'ils représentent le fond des passes de 1821 et de 1835, lesquelles étaient dans la même direction. On voit aussi que la passe était considérablement améliorée en profondeur, puisqu'on avait gagné $1^m,50$.

Eu égard au prolongement des jetées exécutées de 1837 à 1841, on remarquera qu'il en est résulté un banc plus bas au point culminant de $0^m,38$ que le précédent. Les profils 1835 et *mai* 1844 (*fig.* 195), ne sont pas absolument comparables, puisqu'ils représentent le fond de la passe dans deux directions différentes. Néanmoins il

est permis de croire, par induction, que ce qui était arrivé précédemment s'était renouvelé; c'est-à-dire que la nouvelle intumescence, qui s'était formée à 262 mètres de l'extrémité du prolongement, recouvrait le terrain primitif de la côte. Il sera difficile de conserver quelques doutes à cet égard, si l'on examine les profils *mai* 1844 et *juillet* 1844, indiquant le changement survenu à la passe en juin et juillet 1844, mois pendant lesquels le jeu de la grande écluse ayant été interrompu, et les chasses n'ayant eu lieu que par les autres petites écluses, la passe s'est exhaussée au point culminant de $0^m,25$, et le banc produit par ces faibles chasses a été porté encore plus au large en recouvrant le fond précédent. Le courant littoral a donc été impuissant pour enlever les alluvions rapportées par ces faibles chasses, bien que le dépôt ait eu lieu dans un point où ce courant est plus fort et où la côte est plus accore.

On objectera peut-être que dans les mois de juin et juillet la mer étant moins agitée, les sables n'ont point été soulevés par les vagues, et que dès lors le courant littoral, ayant eu moins de prise sur eux, en a laissé une plus grande quantité qu'il ne l'aurait fait dans les gros temps. Mais l'expérience apprend, au contraire, que les passes s'exhaussent en hiver plus que dans la belle saison; c'est-à-dire que le régime combiné des chasses, du courant littoral et de l'action du vent sur l'estran, est moins favorable à la profondeur des passes sablonneuses en hiver qu'en été; d'où l'on doit conclure que si le banc dont il s'agit a recouvert l'ancien fond pendant juin et juillet 1844, cet effet aurait eu lieu à plus forte raison en hiver.

De Calais.

Jetées de Calais. Dans le seizième siècle, le chenal du port de Calais était entretenu dans une grande profondeur, par les courants alternatifs des marées. Alors existait entre la citadelle, les dunes et le fort Nieulet, une vaste étendue de terrains assez bas pour être inondés chaque jour par les mers hautes, et qui recevait aussi les eaux claires s'écoulant du pays depuis Saint-Omer jusqu'à Calais. Le courant de flot était très-fort dans le chenal deux heures avant le plein, parce que la mer monte plus rapidement à ce moment, et parce que dès que les bancs plats, de l'espace dont je viens de parler, étaient couverts, le réservoir dans lequel pénétrait la mer avait une section horizontale plus grande, tandis que la section verticale du canal de remplissage, qui était le chenal, augmentait très-peu.

Pendant le jusant, le débit de ce grand réservoir était considérable; il s'écoulait vers la mer plus d'eau qu'il n'en était venu, puisqu'à la marée se joignaient les eaux intérieures du pays qui s'étaient accumulées pendant la haute mer. Le chenal se trouvait donc soumis à un courant de jusant plus fort que celui de flot, et qui, le débarrassant de tout le sable rapporté par la mer montante, l'entretenait dans une grande profondeur.

Comme dans tous les ports de l'Océan, on construisit à Calais des jetées pour contenir les courants des marées et pour haler les navires.

En 1685, ces jetées ne s'étendaient pas à plus de 200 mètres du bassin du Paradis. La jetée de l'ouest dépassait celle de l'est d'environ 80 mètres (*fig.* 279); la bouche du chenal était orientée comme aujourd'hui.

Quelques années plus tard, Vauban, voulant fixer le chenal et augmenter la profondeur qui était alors à l'embouchure de 5^m,84 (18 pieds) au-dessous des vives eaux ordinaires, projeta de prolonger les jetées d'environ huit cents mètres, c'est-à-dire presque jusqu'à la laisse de basse mer.

En 1696, elles n'avaient pas encore atteint cette longueur, et déjà la profondeur du chenal était de 7^m,13 (22 pieds) à l'extrémité des jetées (*fig.* 280).

Depuis ce temps, les têtes des jetées, sans être éloignées autant que l'avait projeté Vauban, furent placées un peu plus loin que le fort Rouge où elles étaient encore en 1836 (*fig.* 274). Mais la profondeur du chenal, au lieu d'augmenter à l'embouchure, depuis Vauban, avait diminué. Des bancs de sable découvrant aux vives eaux ordinaires, se formaient au delà de la tête des jetées, obstruaient la passe, et la portaient tantôt dans l'ouest, tantôt dans l'est, selon que les vents d'amont ou d'aval étaient dominants (*fig.* 274, 275, 276).

Les courants alternatifs des marées avaient peu à peu diminué, par suite des dépôts que la mer avait laissés dans les marais entre Calais et le fort Nieulet. Autrefois, on avait construit la petite écluse d'Asfeld et celle de la citadelle par lesquels on opérait des chasses à mer basse avec les eaux du pays et du canal de Saint-Omer. Il paraît que leurs effets étaient moindres que ceux des courants alternatifs des marées; et déjà du temps de Vauban, on avait pensé à ajouter aux chasses naturelles des arrières-eaux celles d'une écluse à deux passages de 5^m,20 chacun de débouché avec portes tournantes; ce projet, dont Bélidor nous a transmis la description, ne fut pas mis à exécution.

De 1836 à 1842, on a prolongé les jetées de deux cent quarante-six mètres (*fig.* 277 et 278); mais comme on prévoyait qu'il ne suffirait pas de conduire le courant des anciennes chasses plus au large, et qu'il fallait augmenter leur volume, on construisit une écluse de chasse qui a joué pour la première fois en décembre 1843.

Dans le mois de janvier 1845, après les 46 premières chasses, le chenal s'était approfondi et offrait 7^m,33 d'eau aux vives eaux ordinaires, depuis son origine jusqu'à 200 mètres au delà de la tête des jetées; non-seulement l'approfondissement n'avait pas eu lieu plus loin, mais le fond primitif s'était exhaussé par le dépôt des sables emportés par les chasses. Ainsi, en définitive, le prolongement des jetées et l'augmentation des moyens de chasses ont bien donné plus de profondeur au chenal dans toute sa longueur, mais très-peu plus sur la passe où il y en avait presque autant cent cinquante ans auparavant.

Des sondes, prises exactement à diverses époques, ont démontré qu'à chaque augmentation du nombre des chasses, on gagnait quelque peu en profondeur sur le banc de la passe ; mais que les sables expulsés se déposaient au large en se recouvrant, et faisaient perdre de la profondeur primitive. De sorte que les dépôts successifs exhaussaient les abords de la passe, et s'étendaient de plus en plus autour d'elle, sans être emportés par les courants littoraux. Ces effets sont représentés aux 1er mars et 11 octobre 1844, dans la figure 162. Ils sont tout à fait semblables à ceux observés à Dunkerque.

Ce résultat, moins satisfaisant qu'on ne l'espérait, semble tenir à plusieurs causes :

1° Les courants alternatifs des marées ont toujours été en diminuant et sont presque nuls aujourd'hui.

2° Les sables de l'estran, emportés par les vents parallèles à la côte, sont arrêtés par les prolongements des jetées ; la partie de l'estran qui leur est contiguë s'est relevée au fur et à mesure que les jetées ont été prolongées. Les sables, poussés et accumulés contre elles par le vent, dépassent les parties pleines des estacades et tombent dans le chenal en plus grande quantité qu'ils n'y arrivaient avant le prolongement, parce qu'aujourd'hui ils sont fournis par une plage plus étendue, et qui, plus élevée, reste plus longtemps exposée à l'action du vent.

3° La plus grande saillie des jetées, tant pleines qu'à claire-voie, détourne la direction du courant littoral, la reporte au large, en atténue l'intensité, et empêche ce courant d'entraîner autant de sable déposé par les chasses à la tête des jetées que lorsqu'elles étaient plus courtes.

4° Enfin, la vitesse du courant des chasses à la tête des jetées diminue avec les prolongements, la chute de la retenue étant répartie sur une plus grande longueur.

On ne pourrait remédier au premier inconvénient qu'en construisant de nouvelles écluses de chasse et de nouvelles retenues. Quant aux trois derniers, ils paraissent dériver nécessairement des prolongements des jetées, et devoir s'accroître avec eux.

De Boulogne.

Jetées de Boulogne. Le port de Boulogne était autrefois entretenu par le jeu alternatif des marées dans l'embouchure de la *Liane.* Cette rivière devenant très-forte dans les crues, approfondissait beaucoup le chenal et la passe pendant les grandes pluies. On crut augmenter l'action corrosive du courant de jusant, en faisant une retenue des eaux de la rivière pour les lâcher à mer basse, et tel était l'état du port en 1800. Les jetées n'étaient pas très-longues.

En 1825, on voulut faire de grandes améliorations au port de Boulogne ; à cet effet on y ouvrit un chenal dans une nouvelle direction. Il était compris entre deux jetées dont la longueur dépassait celle des anciennes de plus de 300 mètres ; en même temps on construisit une écluse de chasse plus puissante que les précédentes.

Après avoir provoqué la direction des chasses, par une rigole ouverte à bras d'homme entre les nouvelles jetées, le courant fourni par l'écluse creusa en peu de temps un chenal et une passe jusqu'au niveau des basses mers d'équinoxe ; mais cet approfondissement a diminué au bout de quelques années.

Avant l'établissement des jetées de 1825, le régime de la profondeur du port de Boulogne était établi depuis longtemps. Les jetées et les chasses y ont apporté des perturbations, et un nouveau régime a dû s'établir. Entre ces deux régimes il y a eu une époque de transition pendant laquelle l'entrée a été meilleure qu'aujourd'hui, et je conçois cela ainsi :

Dans les ports des côtes sablonneuses de l'Océan, trois causes influent puissamment sur la profondeur des passes, ce sont : 1° les courants littoraux ; 2° les sables enlevés sur l'estran par les vents parallèles à la côte ; 3° le courant des chasses.

L'ancienne jetée sud-ouest de Boulogne avait peu de saillie en mer et ne produisait qu'un faible contre-courant de flot; la nouvelle s'avançant de 450 mètres plus au large, donne lieu à un contre-courant nécessairement plus étendu et plus fort; de là, plus grand transport de sable de la plage du nord au sud contre la jetée nord-est, qui est à claire-voie dans sa partie supérieure.

Tant que le sable accumulé contre elle a été arrêté par la partie pleine, le chenal s'est amélioré; mais dès qu'il l'a eu dépassée, comme je l'ai vu en 1837, ce sable a déversé par-dessus le massif et est tombé dans le chenal. Emporté par les chasses, il se dépose hors de la tête des jetées, forme un banc tantôt à droite, tantôt à gauche, lequel s'étend dans le chenal par l'effet des vents et des courants. Telle a été l'influence de la grande saillie des jetées et des courants littoraux. Voyons celle des chasses et des retenues.

La première retenue date au moins de 1804; elle a interrompu le mouvement alternatif des marées dans l'embouchure de la Liane; de là, comme on sait, tendance à l'engorgement; il y a donc eu à chaque marée plus de dépôt en aval du barrage qu'avant son existence. Les atterrissements poussés par les chasses s'arrêtent en dehors des jetées; ils peuvent donc y produire des bancs qui n'existaient pas avant. Ils peuvent ne pas être entièrement emportés par le courant littoral de flot, parce que celui-ci a été modifié en intensité et en direction par la nouvelle saillie des jetées. La plage sous-marine en dehors des jetées a pu se relever, et dans les coups de vents il y a plus de sable soulevé et repoussé dans la passe.

Ainsi l'entrée du port, quoique considérablement améliorée par les derniers travaux des jetées et par les chasses, a pu être encore meilleure il y a quelques années.

Jetées de Bayonne. Le port de Bayonne n'est autre chose que le fond de l'embouchure de l'Adour; l'entrée de la rivière est obstruée par une barre de gravier de forme demi-circulaire. Ce banc est variable, *m m m m* (*fig.* 287) représente la situation de la barre en 1826, et *r r r r* en 1837. Les lignes de sondes font voir, à ces deux époques, la direction de la passe, c'est-à-dire la route que devaient tenir les bâtiments pour franchir la barre dans sa plus grande profondeur. De Bayonne.

Le principal but des jetées de l'Adour est de rendre la passe plus accessible aux navires.

Faits naturels dominants. Les vagues et les vents viennent presque toujours de l'ouest-nord-ouest.

Les courants de flot et de jusant portent presque toujours du sud-ouest au nord-est; ils sont plus forts au large, la vitesse varie de $0^m,28$ à $0^m,60$; s'il y a forte brise du nord pendant quelques jours, les courants sont précisément en sens contraire.

Les grandes marées ordinaires sont de $2^m,60$.

Les sables de la côte au nord de l'Adour marchent dans le sud et inclinent l'embouchure dans cette direction, comme le sont les embouchures de tous les cours d'eau entre la Bidassoa et le cap Ferret.

La côte a avancé dans l'ouest, cependant depuis une douzaine d'années elle a peu changé.

Sur le bourrelet de la barre il n'y a que du gravier de cinq millimètres de diamètre et moins, ailleurs il n'y a que du sable fin.

La profondeur de la passe sur la barre n'a presque pas varié depuis cent cinquante ans, c'est-à-dire depuis les jetées Touros. Elle est d'environ $1^m,80$ en été et dans les circonstances ordinaires; mais après des coups de vent d'ouest et avec de faibles eaux de l'Adour, elle diminue d'environ 1 mètre, tandis qu'après des crues extraordinaires et en temps calme, elle augmente d'environ 2 mètres.

Faits relatifs aux travaux. En 1162 la barre de Bayonne se ferme complétement; l'embouchure de l'Adour se porte au vieux Boucaut.

En 1579, Louis de Foix barre le nouveau lit et rejette la rivière dans l'ancien. La passe s'établit d'abord est et ouest, puis dévie au sud.

En 1694, Ferry établit une digue au sud qui redresse momentanément la passe; mais peu après elle se reporte encore au sud; en 1720 elle n'était presque pas praticable.

En 1729, la passe était reportée à 1500 mètres dans le sud (*fig.* 281).

En 1732-1741, Touros établit deux jetées, l'une au nord A A, l'autre au sud DD (*fig.* 281), en se proposant de faire celle du nord plus longue de 60 mètres que celle du sud.

En 1778-1781 on prolonge la jetée sud suivant une jetée basse D E F (*fig.* 282), dépassant de 330 mètres la jetée sud et rétrécissant le chenal. La passe reste droite jusqu'en 1800.

En 1810 la passe étant devenue mauvaise, on prolonge la jetée nord de 260 mètres suivant A B C (*fig.* 284), en rétrécissant encore le chenal; mais on est obligé de borner là le prolongement, parce que la passe se reportait au sud, comme l'indique la fig. 285.

En 1812-1817 on prolonge la jetée sud suivant F G (*fig.* 286), la passe se redresse (*fig.* 288-289), et depuis elle est restée assez bien dirigée. Toutefois, dans les années où les eaux de l'Adour sont faibles et où les vents de l'ouest-nord-ouest sont plus forts et plus fréquents, la barre se rapproche des jetées et ferme presque l'entrée, comme cela a eu lieu en décembre 1832 (*fig.* 290). Dans cette année le banc s'était d'abord formé sur la barre, puis s'était successivement rapproché de la côte; il n'était composé que de gravier et non de sable. Il a disparu aux premières crues de l'Adour.

De l'ensemble des faits précédents il paraît résulter :

1° Que la barre de Bayonne est rejetée dans l'intérieur par les lames de la mer, et renvoyée au large par la masse d'eau sortant du chenal de l'Adour à mer descendante;

2° Que la pointe sablonneuse du nord tend continuellement à avancer dans le chenal, à le repousser dans le sud et à incliner la passe dans cette direction;

3° Qu'en avançant la jetée sud plus que celle du nord, le courant sortant du chenal à mer descendante s'incline vers le nord, range les sables sur la rive droite, et peut maintenir la direction de la passe à peu près dans l'axe du chenal.

En prolongeant les jetées et en conservant leur inégalité respective peut-on espérer d'améliorer la passe?

En prolongeant les jetées, on conduit plus loin le courant de jusant sortant du chenal, et on favorise son action sur les alluvions de la barre; l'action de la mer, qu'on peut regarder comme constante, deviendra à cet endroit comparativement moins forte; ainsi la barre repoussée au large jusqu'à la distance où les deux forces contraires seront égales, sera de nouveau fixée comme elle l'est aujourd'hui, et la navigation n'aura rien gagné.

Mais les passes seront-elles plus profondes?

L'expérience des 150 années précédentes fait voir que, malgré le prolongement successif des jetées, la profondeur n'a pas varié. Tout porte donc à croire qu'il en serait encore de même; et s'il y avait quelques changements, probablement ils ne seraient point heureux. Car plus la barre s'éloigne de l'embouchure, plus la pente de la rivière jusqu'à la barre diminue, puisque le niveau de la mer est constant; la vitesse de la rivière sera donc diminuée, et son action sur le fond sera moins grande.

La pointe du nord, de son côté, avancerait au large et prendrait sans doute, par rapport aux têtes des nouvelles jetées, la position qu'elle a aujourd'hui par rapport aux jetées actuelles.

Deux choses importent à la navigation : la profondeur et l'orientation de la passe.

La première ne paraît pas pouvoir être augmentée. Elle résulte de la corrosion du courant de jusant à mer basse dans le bourrelet de la barre; or, on sait que depuis 150 ans et dans l'état ordinaire, c'est-à-dire abstraction faite des influences momentanément dominantes de la mer ou de l'Adour, elle est à peu près constante; elle semble donc être arrivée à l'état de régime résultant des actions simultanées et contraires des lames et du courant de jusant à l'embouchure.

L'orientation de la passe a souvent changé. Elle est la meilleure quand elle est dirigée dans le sens de la lame et des vents régnants, c'est-à-dire ouest-nord-ouest. Alors les navires peuvent donner dans la passe vent arrière ou grande largue, sans craindre d'être pris en travers par la lame, circonstance qu'ils redoutent, et qui occasionne souvent leur perte.

Cette orientation dépend de l'avancement de la jetée basse du sud sur celle du nord, et il paraît que la saillie de 220 mètres, qui existe aujourd'hui, est convenable pour maintenir la direction à peu près ouest-nord-ouest de la passe.

C'est ici le lieu de faire remarquer que la passe, abandonnée aux forces naturelles agissant à l'embouchure de l'Adour, tend toujours à s'incliner au sud; effet dû à la marche du nord au sud des sables de la côte à droite de l'Adour, lesquels, formant la pointe du nord, forcent le courant de jusant à s'infléchir au sud.

Sans la formation de cet atterrissement, la passe s'inclinerait au nord, car elle s'établirait dans le sens du jusant qui suivrait la résultante du courant dans le chenal de l'Adour normal à la côte, et du courant du large portant au nord-est. Mais il paraît que cette action n'est pas suffisante pour ranger les sables contre la côte, au nord de l'embouchure, et qu'elle est vaincue par la marche des sables vers le sud, inclinant la passe dans le même sens. C'est donc à l'art à redresser la passe, et c'est ce qui arrive quand la jetée sud dépasse celle du nord d'environ 200 mètres.

Quoique maintenue aujourd'hui entre des limites assez rapprochées, l'orientation de la passe a encore trop d'instabilité, c'est ce qui a engagé à entretenir dans l'embouchure de l'Adour un bateau à vapeur toujours prêt à remorquer les navires entrant ou sortant; cette mesure a eu les résultats les plus heureux pour franchir la barre.

De Dieppe.

Jetées de Dieppe. En 1600, l'entrée du port était beaucoup plus large qu'aujourd'hui : c'était en quelque sorte l'embouchure naturelle de la rivière d'Arques qui, repoussée par les galets, venait ronger le pied de la falaise du Polet (*fig.* 79). La jetée de l'ouest était de 200 mètres moins avancée au large que celle d'aujourd'hui. La jetée de l'est n'existait pas.

Un demi-siècle après, on construisit une nouvelle jetée de l'ouest qui retrécissait le chenal; on construisit aussi la jetée de l'est.

En 1698, les longueurs de ces jetées étaient à peu près comme l'indique la figure 80. Dans cette année, une tempête avait détruit vingt mètres de la tête de la jetée de l'ouest.

De 1700 à 1709, on allongea la jetée haute de l'ouest et la jetée basse de l'est. Les tempêtes, principalement celles de décembre 1724 et d'octobre 1729, emportèrent la jetée basse, et en 1732, la jetée de l'est était réduite à la jetée haute en maçonnerie, qu'on voit dans la figure 81, représentant l'état des jetées en 1776.

De 1776 à 1786, la jetée basse de l'est fut rétablie dans la forme que représentent les figures 82 et 83.

Plus tard, la jetée de l'ouest fut raccourcie deux fois; le dernier raccourcissement eut lieu en 1799, et lui laissa la longueur actuelle.

Dieppe est un de nos ports de la Manche où la mer agit avec le plus de fureur à l'entrée du chenal. La destruction des jetées en fait foi. C'est aussi un de ceux devant lequel il passe le plus de galets. On en estime le volume à 24,000 mètres cubes par an. Les figures du n° 80 au n° 93, font voir diverses positions des pouliers à l'entrée du chenal. Il ne faut pas se les représenter comme ayant persisté quelque temps. Ce ne sont que des situations passagères de certaines époques, et dont les dessins ont été conservés. Les pouliers sont dans un mouvement continuel.

Le galet vient de l'ouest, chemine au pied des falaises, s'avance sur la plage à gauche des jetées, dépasse celle de l'ouest, la tourne, vient se déposer sur la face intérieure et pénètre dans le port.

Si, comme cela a lieu la plupart du temps, le courant des chasses le repousse au large et entretient le chenal, le galet se répand dans le nord et forme un grand banc dont la figure 91 donne le type dans son maximum d'effet.

Si les tempêtes du nord-ouest sont fréquentes les chasses deviennent impuissantes, le chenal ne peut être entretenu, le galet y arrive en quantité considérable, qu'on a estimé quelquefois de huit à dix mille mètres cubes en une marée; le chenal réduit à dix mètres de largeur est presque obstrué et le port est fermé, comme on l'a vu en 1786, 1803, 1804, 1817, 1818, 1827, 1834, 1836.

Les chasses, qui sont le seul remède au mal, ne font quelquefois que l'empirer. Car lorsque le galet a remonté fort avant dans le chenal, et qu'une chasse en entraine une grande quantité à l'embouchure où il se dépose là où faiblit l'action des chasses, si alors survient un violent coup de vent du nord-ouest, le galet est retroussé par la lame et accumulé en barre devant l'entrée du port qui se trouve plus fermé qu'avant la chasse.

Dans ces circonstances on a été obligé d'ouvrir un chenal à bras d'homme. C'est ainsi qu'en 1817 on a fait la coupure *c b a*, fig. 86, pour provoquer le courant des chasses dans cette direction.

On voit que la tendance générale des effets combinés de la marche du galet et des chasses est de porter l'embouchure du chenal au nord-est, en lui donnant cette orientation en dehors des jetées.

Cette direction est une des plus fâcheuses pour l'entrée des navires. Nous avons vu qu'ils doivent toujours s'efforcer d'atteindre le musoir de l'ouest. Ils ne peuvent donc, par les vents dominants, suivre le chenal sans faire un détour dangereux, et s'ils veulent raser le musoir de l'ouest, il faut que la mer monte assez sur le banc de galet qui environne ce musoir, ce qui n'a lieu qu'en vive eau.

La mauvaise orientation du chenal tenait en partie à ce que le courant des chasses, au lieu d'attaquer le banc de galet appuyé contre la jetée de l'ouest, se portait au pied de la jetée de l'est, où il était attiré par la concavité de cette jetée tournée vers l'axe du chenal, fig. 79.

Cette courbure vicieuse était encore continuée dans la jetée basse *c d m*, fig. 86, laquelle était d'ailleurs un écueil pour les navires.

Tel était, il y a quelques années, le mauvais état de l'entrée du port de Dieppe, attribué à l'abondance du galet, à la force des lames et à la direction vicieuse des jetées, quand on voulut l'améliorer.

Tout le monde reconnaissait la nécessité de rétrécir le chenal et la mauvaise disposition des jetées, surtout de celle de l'est; mais on n'était pas d'accord sur les améliorations à adopter.

Les uns voulaient prolonger la jetée de l'est parallèlement à la jetée de l'ouest sur 100 mètres en jetée haute à claire-voie, terminée par un épi bas de 80 mètres.

D'autres demandaient le même prolongement de la jetée de l'est, et de plus une estacade à claire-voie sur 200 mètres de longueur à 50 mètres en avant de la jetée de l'ouest, afin de permettre le halage et le dépôt du galet. Le chenal réduit à 35 mètres à l'endroit le plus étroit aurait eu environ 80 mètres à l'entrée, et aurait été un peu incliné vers le nord.

D'autres enfin proposaient de conserver intacte la jetée de l'ouest, de construire une jetée à l'est de 200 mètres, qui ne s'avancerait qu'à 45 mètres en deçà de la première (fig. 79, 170 et 171) ; la tète de cette nouvelle jetée sur 40 mètres devait être en maçonnerie pleine, et le reste de la longueur à claire-voie. Derrière l'estacade devait être un plan incliné prolongé jusqu'à un mur plein terminant la jetée dans l'est ; cette nouvelle jetée devait être courbe, tournant sa convexité du côté du chenal qui était réduit à 40 mètres à la partie la plus étroite, et qui s'élargissait de manière à avoir environ 80 mètres à l'ouvert des jetées.

Ces dernières dispositions furent adoptées en 1837, et on les mit à exécution en y ajoutant la construction de cinq épis pour retenir le galet sur la plage à l'ouest des jetées.

Ces travaux n'ont pas eu tout le succès qu'on en attendait. Les vents d'ouest continuent à faire entrer dans le chenal des pouliers qui occupent à peu près la même place que précédemment. Mais par suite de la convexité de la nouvelle jetée de l'est, le courant des chasses est reporté avec force contre le pied de la jetée de l'ouest à environ 150 mètres du musoir, et sépare en deux parties le poulier appuyé sur cette jetée. La partie intérieure n'étant plus reformée peut être attaquée et expulsée sans retour avec les guideaux jusqu'à la morte eau suivante ; mais la partie extérieure, qui se lie avec la barre du large, continuellement nourrie par le nouveau galet, ne peut être enlevée ; et le chenal, sans faire un coude aussi prononcé qu'autrefois vers le nord-est, incline toujours de ce côté. Tel est le résultat obtenu par le prolongement de la jetée de l'est.

FIN.

NOTE.

Extrait d'un mémoire de Vauban sur le port de Cette, 13 *août* 1681.

« Ce port a été bien choisi pour retraite des navires du roi, puisque c'est le seul de » la côte de Languedoc assez profond pour presque tout vaisseau, et où il y ait une petite » côte pour couvrir des vents de terre.

» On n'a pas été aussi heureux dans le choix des ouvrages pour le couvrir des vents » de mer.

» Si l'ingénieur eût eu du bon sens et un peu de science, il aurait connu que pour » combler et atterrir promptement un endroit de la mer ou d'autre eau qui a du mou- » vement, le plus sûr moyen est de faire une digue opposée au courant joignant et » au-dessus de l'endroit qu'on veut combler, parce qu'alors l'eau étant presque sans » mouvement n'a plus la force de soutenir ni pousser plus loin les sables, terres, etc., » que le courant entraîne.

» Tout le monde convient du courant de l'est à l'ouest sur les côtes opposées au midi » de la Méditerranée, ce sont donc principalement les moyens d'atterrir qu'on a pra- » tiqués à Cette. La grande jetée (môle Saint-Louis) attachée à la côte empêche le cou- » rant de passer au long et d'emporter avec lui les sables qu'il y entraîne par sa *rapidité*, » la petite (jetée de Frontignan) étant directement opposée au courant, tous les sables » s'affaissent au-dessous.

» L'ingénieur devait s'en rapporter à l'expérience qu'il avait à trois lieues de Cette » au port d'Agde sous le fort Brescou. Tout le monde sait que ce port ou plutôt cette » rade s'est comblée de plus de moitié depuis que Louis XIII fit faire le môle qui est » attaché à la terre et directement opposé au courant.

» Loin de se corriger par l'exemple de la grande jetée et de son mauvais effet, il a » fait construire la petite qui a le plus contribué à l'ensablement.

» L'ingénieur a fait une autre faute en creusant le port avec six à huit machines. » Sachant la profondeur avant les jetées, il savait combien il était venu de sable et en » combien de temps; il aurait donc pu voir qu'en plaçant autant de machines que » le port pouvait en contenir, à peine elles auraient pu suffire à enlever celui qui » venait.

» Des raisonnements et des expériences allégués ci-dessus, on peut établir pour » maxime que pour faire un port qui conserve sa profondeur en pays de plage et sablon- » neux, et où il n'est pas possible de faire des écluses, on ne doit jamais joindre les » môles à la terre, mais qu'au contraire il faut les en éloigner d'une distance convenable, » et les disposer de sorte qu'ils n'empêchent pas l'effet des courants qui peuvent net- » toyer le port et entretenir sa profondeur. »

Sans prétendre que tout ce que dit ici Vauban soit admissible, j'ai pensé qu'on lirait avec intérêt ce qui vient de ce grand ingénieur. Le mémoire de Vauban, sur le port de Cette, du 13 août 1681, m'a été communiqué par M. Maguès, ingénieur en chef du canal du midi, qui a eu l'autorisation de le copier dans les bureaux de la guerre.

FIN DE LA NOTE.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES FIGURES.

PLANCHE I.

Figures.

1. Marche de la marée dans le lit de la Somme, entre Abbeville et Le Crotoy, le 16 décembre 1822. Il y avait nouvelle lune le 13; le coefficient de marée était 0,71. Les différentes courbes représentent les hauteurs simultanées de l'eau à l'heure écrite sur chacune d'elles.
2. Courbes des hautes et basses mers à Cherbourg pour chaque jour, depuis le 12 mars jusqu'au 16 avril 1831. Les chiffres des ordonnées sont les hauteurs en mètres de la mer; on voit aussi les vents observés chaque jour, ainsi que les syzygies et les coefficients de marées.
3. Carte de l'embouchure de la Somme; les lignes pleines sont les côtes des cartes de la marine en 1835; les lignes ponctuées représentent les mêmes côtes d'après un vieux plan du dépôt de la marine, qui ne remonte pas à une époque antérieure à 1680.
4. Indication des courants et contre-courants de flot autour de l'île Swona, aux Orcades, d'après Mackenzie.
5. *Idem* autour de l'île d'Aurigny, d'après l'ingénieur hydrographe Mounier.
6. Plan indiquant la marche de la pointe du Hourdel à l'embouchure de la Somme, et les positions qu'elle occupait en 1780, 1800, 1827, 1832 et 1834.
7. Marée à deux étales du port de Rochefort, le 20 avril 1839; il y avait pleine lune le 28 suivant.
8. *Idem* le 21 avril matin.

PLANCHE II.

9. Courbe de marée à l'île d'Aix, le 24 septembre 1824; observation des ingénieurs hydrographes.
10. *Idem* à Saint-Palais à Belle-Isle, le 22 septembre 1820. *Idem*.
11. *Idem* à Cherbourg, le 29 décembre 1841; observations du port.
12. *Idem* à l'île d'Yeu, le 16 septembre 1822; observation des ingénieurs hydrographes.
13. *Idem* à Lorient, le 14 septembre 1833; observations faites dans ce port.

Figures.

14. *Idem* à la pointe du Siége, le 4 octobre 1830; observations des ingénieurs des ponts et chaussées.

15. *Idem* à Dunkerque, le 23 novembre 1820, *idem*.

PLANCHE III.

16. *Idem* à Saint-Malo, le 30 juin 1843; observations des ingénieurs des ponts et chaussées.

17. *Idem* au Havre, le 6 septembre 1834; observations des ingénieurs hydrographes.

18. *Idem* à Trouville, le 14 août 1841; observations faites dans ce port.

19. *Idem* à Cordouan, le 7 août 1825; observations des ingénieurs hydrographes.

20. *Idem* aux Sables-d'Olonne, le 16 août 1824; *idem*.

21. *Idem* au Socoa, le 5 septembre 1826; *idem*.

PLANCHE IV.

Nota. Toutes les figures de cette planche ont la même orientation, le nord étant en haut.

22. Plan de la côte de l'île d'Yeu, près le port Breton. *bbb* anse du port Breton; *mr* môle appelé grand quai; *mn* môle construit en 1835 et 36, pour abriter le port Breton du ressac produit par les vents de sud-ouest.

23. Plan du port de Bastia et de la côte aux environs. *cd* grand môle; *h* rochers du Lion; *npm* parties du port où il y a ressac par les vents de nord et nord-nord-est.

24. Plan du port de Camaret. *mnopsb* laisse de haute mer de vive eau; la ligne ponctuée est la laisse de basse mer de vive eau; *hhh* la digue du Sillon; *rt* le môle en construction, détruisant le ressac produit dans le port *ss* par les vents du sud-ouest.

25. Profil du môle *mn* (*fig*. 22) construit à l'île d'Yeu.

26. Profil du môle en construction à Camaret vers le milieu de sa longueur.

27. Plan de la rade et du port d'Antibes. *s* vieux môle; *hmn* môle nouveau dont la partie *mn* a été démolie vers 1780; *mr* partie récemment construite en remplacement.

28. Port de la Flotte, île de Ré. *bc* môle tout récemment construit.

29. Port d'Alger. *bdef* grande jetée en construction.

30. Port de commerce de Cherbourg. *ab*, *dh* jetées neuves en maçonnerie; *hn* jetée en pierres sèches; *bc* jetée démolie; *mo* rochers appelés *Butte menteuse; imrst* avant-port; *ps* écluse; *x* bassin à flot.

31. Profil en travers du nouveau môle de Saint-Georges-le-Douhet, île d'Oleron. Suivant *rt* (*fig*. 32); *ik* nouveau môle; *tt* sables accumulés par les vents de nord; *rr* sables enlevés en *t* par les lames et jetés dans le port par-dessus le môle; *h* parapet projeté pour arrêter le sable.

32. Port de Saint-Georges-le-Douhet, île d'Oleron. *dg* dunes de sable; *bc* ancien chenal; *mn* ancienne jetée; *ik* nouvelle jetée; *a* écluse; *ah* canal de retenue.

33. Port de Saint-Tropez. *mn* ancien môle du Portalet; *mo* prolongement projeté.

34. Port Saint-Martin dans l'île de Ré.

35. Port de la Ciotat. *a* fort Bérouart; *ab* môle construit en 1840 sur les rochers en prolongement de ceux du fort; *or* ancien môle; *d* éperon qui a été proposé pour arrêter le ressac arrivant dans le fond du port *mc* par les vents du sud au sud-est, depuis la construction du môle *ab*.

PLANCHE V.

Figures.

36. Plan de la rade de Cherbourg. AA anse Chantereine; BB môles de l'entrée du port militaire; CDE brise-lame ou digue de la rade. Les flèches indiquent les courants et contre-courants existant au flot avant la construction de la digue; les chiffres indiquent en mètres les sondes à mer basse de vive eau.

37. Coupe transversale de la muraille en construction sur la digue de Cherbourg, suivant AB de la figure 46. *a* bateaux chargés de mortier et béton; *b* blocs de béton de six mètres cubes; S première assise; *m* seconde assise; *p* troisième assise; *n* dernière assise provisoire; *h* approvisionnements de moellons; *i* gros blocs naturels de un à deux mètres cubes; R sommet de l'enrochement.

38. 39. 40. Fondations en béton des môles B des figures 36 et 42 à l'entrée du port militaire de Cherbourg; *a d* pieu assemblé avec la pièce *d c* par l'étrier *m*, laquelle est assemblée avec les moises *e r* avant le battage dans le roc; *n* boulons liant les moises avec le pieu *a d* après le battage; *h* caisses chargées de libages; *i i* madriers ou panneaux pour retenir le béton.

41. Caisse pour le coulage du béton.

42. Coupe en travers du môle B (*fig* 36) à l'entrée du port militaire de Cherbourg.

43. 44. Plan et coupe verticale suivant *o p* de la figure 45 du parapet du môle, à l'entrée du port militaire de Cherbourg.

45. Coupe horizontale suivant *a b* de la figure 44.

46. Plan de la muraille en construction sur la digue de Cherbourg. *a a* bateaux chargés de mortier et béton; *b b* blocs de béton de six mètres cubes; *i i* blocs naturel de un à deux mètres cubes; *h* moellons approvisionnés; S première assise; *m* seconde assise; *p* troisième assise; *n n* revêtement provisoire; R dessus de l'enrochement.

47. Profil en travers du brise-lame de Cherbourg et de la muraille.

48—49. Affaissement et rupture de la muraille de Cherbourg par la tempête des 24, 25 et 26 décembre 1837, soulevée par le vent de nord-nord-est. La figure 48 est la section verticale suivant *a b* du plan figure 49; *c d f* grande disjonction de cent mètres environ de longueur; *o i* grande fente plus ouverte en bas qu'en haut où elle avait environ $0^{m},90$ de largeur; *m m* anciens enrochements; *p p* enrochements récents.

PLANCHE VI.

50. Profil de la grande jetée en construction à Alger suivant DE du plan figure 55, avant et après la tempête des 21, 22 et 23 janvier 1841; *a b* parapet en gros blocs; *c d* parapet en béton sur un massif *h* aussi en béton.

51. Profil en travers de la grande jetée en construction à Alger, suivant GF du plan fig. 55, avant la tempête de janvier 1841.

52. Le même profil après la tempête.

53. Profil en travers du môle de Granville. La partie ancienne a deux branches de 125 mètres chacune dirigée l'une à l'est, l'autre au nord-nord-ouest. Cette dernière a été prolongée sur 250 mètres; *a b* parapet du côté du large; *c* borne d'amarrage; *d d* dallage en maçonnerie; *m m* remplissage intérieur en gravier et argile; les parements sont en pierres de taille, les massifs des murs en maçonnerie de moellons, fondés sur le rocher.

Figures.

54. Profil en travers de la jetée Saint-Nicolas, aux Sables-d'Olonne, en pierres sèches avec parement de maçonnerie de moellons. *abcd* mur en maçonnerie exécuté sur 28 mètres dans le milieu pour la fortifier.

55. Plan de la grande jetée en construction à Alger, après la tempête du 17 novembre 1843. H limite de la partie sans mouvements après la tempête ; A première lézarde dans le béton de recouvrement ; BC partie dont les blocs avaient été coulés fin d'octobre et commencement de novembre ; les lignes ponctuées de A en C indiquent le sommet de la jetée avant la tempête.

56. Plan des fondations du môle de Granville (*fig.* 53) représentant les murs longitudinaux, les murs de refend, et les cases intérieures remplies de gravier et d'argile ; *a b* projections des lignes du couronnement du môle.

57. Demi-coupe verticale du musoir de la grande jetée des Sables-d'Olonne, fondé sur le sable et sur plate-forme et pilotis. *a b* petit parapet dont on voit le détail figure 62 ; *a c* parement en pierres de taille posées en retraite pour obtenir le fruit (*Voy.* la *fig.* 62) ; *c d* dalles de la risberme posées d'abord sur plancher, puis reposées sur béton ; *h h* enrochements pour combler les affouillements au pourtour du musoir ; *t* file périmétrique de pieux jointifs ; *l* poteau d'amarrage ; *n* et *o* maçonnerie ; *m* remplissage en sable, terre et gravier ; *x* dallage maçonné.

58. Profil en long de la grande jetée en construction à Alger, après la tempête du 17 novembre 1843, correspondant à la partie HABC de la figure 55. Le profil avant la tempête est figuré par une ligne ponctuée ; le profil après la tempête est figuré par les lignes pleines avec hachures.

59. Elévation et plan d'un bloc de béton de 10 mètres cubes sur le quai d'Alger, transporté à 9 mètres pendant la tempête du 17 novembre 1843.

60. Elévation d'un bloc de béton d'environ quarante mètres cubes sur la roche Algefna, et culbuté pendant la tempête du 17 novembre 1843.

61. Profil en travers de l'embouchure de la Seine passant par la principale église du Havre et dans la direction nord 6° $^1/_2$ ouest indiquant les mouvements du fond d'après les sondes de de Gaule en 1708, celles de M. Beautems Beaupré en 1834, et celles de M. Givry en 1841.

62. Détail du parement de la grande jetée des Sables-d'Olonne.

63. Profil en travers de la grande jetée des Sables, suivant *ab* du plan (*fig.* 64) ; *o* murs longitudinaux unis par des murs de refend *c c* (*fig.* 64) ; *m* remplissage des cases entre les murs en gravier, sable et terre ; *a b* parapet dont on voit le détail figure 62 ; *x x* dallage maçonné ; *r r* risberme du côté du chenal.

64. Plan du système de fondation de la moitié de la grande jetée des Sables-d'Olonne. *c c* contre-forts ou murs de refend qui relient les deux grands murs longitudinaux ; *d d* pieux jointifs extérieurs de la risberme du musoir ; *h* plancher du grillage ; *m* dallage de recouvrement de la risberme du musoir.

PLANCHE VII.

65. Profil dans la direction sud-ouest du musoir de l'ouest du brise-lame de Plymouth, pris après la grande tempête de 1824, et qui n'a pas sensiblement changé dans les dix années suivantes.

Figures.

66. Profil en travers du musoir de l'est du brise-lame de Cette, côté le plus battu par les vagues du large. Ce profil a été relevé en octobre 1833, deux ans après qu'on n'y faisait plus de versements. *m m m* fond primitif avant les travaux. Il est de niveau à la dernière cote du côté du large sur environ 40 mètres au delà du profil. Du côté de l'intérieur, il se relève graduellement sur 40 mètres au-delà de la dernière cote de la figure, jusqu'à la cote $5^m,60$.

67. Revêtement en grosses pierres avec mortier de ciment Parker sur une partie du talus du brise-lame de Plymouth, sur la branche de l'ouest seulement et du côté du large.

68. Plan du revêtement de la figure 67.

69. Plan et profils de l'enrochement de Boyard à deux époques, en mars 1809 et en août 1837. Les lignes ponctuées sont relatives à 1809; les lignes pleines et les hachures sont relatives à 1837. Depuis avril 1809, les travaux de l'enrochement ont été abandonnés complétement et n'ont été repris qu'après le mois d'août 1837.

70. Plan de l'enrochement de Boyard tel qu'il découvrait, et d'une partie de la première assise telle qu'elle était le 8 septembre 1837, à la fin de la campagne de cette même année, et avant d'être bouleversée par la fameuse tempête de février 1838.

71. Plan d'une partie de l'enrochement et du socle de fondation du fort Boyard en 1844-1845. Partie découvrant à mer basse de vive eau; partie sud du fort. *a a* sommet de l'enrochement; *b b* couche de maçonnerie dite d'arasement, exécutée aux moyens de petits murs formant des cases remplies successivement en béton; *m m* tranche de maçonneries exécutées dans le même système à la hauteur de la première assise; *n n idem* pour la seconde assise; *o o idem* pour la troisième; *h* premier rang de blocs artificiels de quinze mètres cubes, coulé contre la risberme de la couche d'arasement; *r* second rang des mêmes blocs; *t* troisième rang *idem*; *x* partie où abordaient les embarcations à l'abri des vagues du nord; *s s* sacs remplis de béton pour fonder les petits murs des cases de la couche d'arasement dans les parties très-basses de l'enrochement.

72. Appareil flotteur pour transporter les blocs de quinze mètres cubes au fort Boyard. *a* un des quatre treuils servant à soulever et à couler le bloc; B coins mobiles pour serrer le bloc contre la charpente; D coins fixes avec la charpente; *h* tonne flotteur en sapin dont on voit les détails figures 74 et 75; *i i* cordages serrant les tonnes contre la charpente; *l l* charpente en sapin recouverte d'un plancher; *o o* chaînes passant sur les treuils *a* et à travers le bloc dans un trou de $0^m,13$ en carré.

72 *bis*. Détail des chaînes *o o* de la figure 72.

73. Moitié de la coupe en travers du socle et enrochement du fort Boyard figure 71 (les lettres de renvoi sont communes aux deux figures).

74. Coupe dans le milieu d'une tonne flotteur *h* de la figure 72, et qui fait voir l'intéreur de la tonne.

75. Plan de la tonne flotteur dont la figure 74 représente la coupe; la moitié du plan est la coupe par un plan horizontal passant dans l'axe.

PLANCHE VIII.

Nota. Toutes les figures de cette planche, excepté la figure 78, ont la même orientation, le nord étant en haut.

76. Entrée du port du Tréport à la tête des jetées. On y voit les pouliers de galets à mer basse de vive eau, et la laisse de basse mer après les chasses des 22 et 31 décembre 1833.

PLANCHE IX.

Figures.

100. Plan de la pointe de Grave à deux époques. Les lignes pleines indiquent la laisse de haute mer en 1835, d'après les cartes de M. Beautems Beaupré ; les lignes ponctuées représentent la laisse de haute mer que l'on peut rapporter à l'année 1770, selon les minutes de la carte de Cassini, levée de 1750 à 1789, et selon la carte de la Guienne, levée par Belleyme sous Louis XV (dont l'avénement a eu lieu en juin 1715), renseignements pris au dépôt des fortifications, et qui ne peuvent faire remonter la position figurée de la pointe de Grave à une époque antérieure à 1770.

101. Plan du port de Saint-Georges de Didone sur la rive droite de l'embouchure de la Garonne. Les petites flèches indiquent les directions des courants au flot. *ab* ancienne digue démolie ; *xm* nouveau môle récemment construit ; *x* coupure faite dans l'enracinement de ce môle pour laisser au courant son ancienne marche.

102. Coupe du premier bassin à flot d'Anvers parallèle à l'axe de l'écluse, côté de la ville, avec la position d'une partie des vaisseaux de ligne qui y ont passé l'hiver de 1813 à 1814.

103. Plan d'une partie de la côte de Poitou. Les petites flèches représentent les courants et contre-courants qui ont lieu au flot. *i* sables qui avancent contre la grande jetée des Sables-d'Olonne ; *m* dunes de sable qui s'avancent sur le chenal de Saint-Gilles ; *p* dunes de sable qui s'avancent sur le chenal de la Gachère.

PLANCHE X.

104. Plan de l'entrée du port d'Ostende. Les chiffres indiquent en mètres les profondeurs à mer basse le 25 mars 1662, d'après les sondes prises dans le chenal et la passe, par le général d'artillerie Boulangier, plan copié sur celui qui est aux archives du dépôt des fortifications. Les lignes ponctuées indiquent les bancs formant la barre.

105. Plan de l'entrée du port d'Ostende. Les chiffres sont les profondeurs en mètres à mer basse le 25 septembre 1698 (il y avait pleine lune le 20 septembre), d'après les sondes prises dans le chenal et la passe, par le général d'artillerie Boulangier, plan du dépôt des fortifications. Les bancs de la barre sont indiqués par des points.

106. Plan de l'entrée du port d'Ostende avec les profondeurs en mètres à mer basse le 19 novembre 1721, jour de la nouvelle lune, et le 5 mars 1725 (il y avait nouvelle lune le 14), les sondes relatives à l'année 1721 sont soulignées. Les lignes ponctuées indiquent les hauts-fonds de la barre. Les sondes ont été prises par un arpenteur et un capitaine de navire désigné par les députés de Flandres, plan du dépôt des fortifications.

107. Plan de l'entrée du port d'Ostende avec les sondes en mètres dans le chenal et la passe, prises le 10 juin 1727 (il y avait pleine lune le 3 juin) ; les hauts-fonds de la barre sont représentés par des lignes ponctuées, plan du dépôt des fortifications.

108. Plan de l'entrée du port d'Ostende tiré des archives du ministère de la marine et signé Raffeneau, avec les sondes en mètres dans le chenal et la passe, prises à mer basse de vive eau, en décembre 1810, avant le jeu de la première écluse de chasse.

109. Plan de l'entrée du port d'Ostende avec les sondes en mètres, prises à mer basse de vive eau, le 12 septembre 1844 (coefficient 1,04), communiqué par les ingénieurs du port d'Ostende.

Figures.

110. Plan du système de digues et de poldres environnant Ostende, formé avec les renseignements tirés des plans et mémoires du dépôt des fortifications, depuis 1627 jusqu'à 1753. A digues construites en 1608 ; B *idem* en 1612 ; C *idem* en 1626 ; D crique de Gaweloze ; E poldre Wauterman ; F crique Sainte-Catherine ; I poldre nouveau Zandworde ; K digues du canal de Newport, ouvert en 1639 ; L digue commencée en 1608 et achevée en 1663 ; M digues construites en 1700 ; O poldre Camerlinx, inondé à toute vive eau et les parties basses à toute marée ; R digues construites en 1744 ; *a* coupures faites en 1662 dans la digue C ; *b* coupures faites en 1720 dans la digue A.

111. Système des chasses de l'avant-port de la Rochelle. *a* avant-port ; *b* petits aqueducs débouchant sur les vases au pied des quais ; *c o p* aqueduc longitudinal communiquant à la retenue des fossés de la place par la vanne *r* ; *i m* aqueduc qui amènera les eaux de la retenue *h*.

112. Plan d'Ostende et de son port en 1571, tiré du dépôt des fortifications. B la grande église ; C la paroisse des pêcheurs ; DDD écluses qui *retiraient les eaux du pays et nettoyaient le port*, c'est-à-dire écluses de chasse ; E bouche du port ; F dunes de sable ; *m m* jetée en charpente du chenal.

113. Elévation et profil du mur de quai du bassin à flot d'Anvers. *a* poteaux de garde ; *b* chapeau qui les coiffe ; *c* semelle portant sur la saillie en pierre de taille ; *m* goujons en fer scellés dans la maçonnerie et boulonnés dans les bois. La ligne ponctuée représente le gabari d'un vaisseau de ligne au maître bau.

PLANCHE XI.

Nota. Toutes les figures de cette planche ont la même orientation, le nord est en haut.

114. Plan des jetées du Havre, les petites flèches indiquent les courants et contre-courants à mer haute. La direction des vents régnants est indiquée.

115. *Idem* pour Boulogne, les lignes ponctuées indiquent une jetée basse en prolongement de la jetée nord-est.

116. *Idem* pour Calais.

117. *Idem* pour Dunkerque. On y voit de plus les routes *a a* et *b b* que peuvent suivre des bâtiments entrant par les vents d'ouest.

118. Plan de jetées d'Ostende avec la direction des vents régnants.

119. *Idem* de Fécamp.

120. *Idem* de Dieppe.

121. *Idem* de Saint-Valery-en-Caux. Les petites flèches indiquent les courants à mer haute.

122. *Idem* du Tréport.

123. Plan des jetées de Honfleur avec la direction des vents régnants.

124. *Idem* de Cherbourg.

125. *Idem* de Caen.

126. Plan des jetées des Sables-d'Olonne avec la direction des vents régnants. *p c d* grande jetée ; *b r* jetée Saint-Nicolas ; *h h* rocher Saint-Nicolas ; *i m* épi en charpente pour abriter le port de l'agitation du vent de sud-ouest ; *i k* quai.

res.

. Plan du port de Marseille et d'une partie de la côte voisine. *a b c* môle isolé projeté et abandonné; *d h f* projet d'agrandissement du port abandonné; *n r o t* projet approuvé et en cours d'exécution; *m* bouées pour l'entrée et la sortie des navires.

. Plan des jetées de Bayonne.

. *Idem* de Ramsgate. *m n* prolongement exécuté par Smeaton.

. Plan d'une partie de la côte orientale d'Angleterre avec les courants et contre-courants de flot à la pointe d'Orford.

. Plan des anciennes jetées du port militaire de Flessingue.

. Plan d'une écluse dont les portes d'ebbe *b* s'ouvrent à volonté contre la pression de l'eau; *c* espace triangulaire communiquant avec l'amont ou avec l'aval de l'écluse au moyen des vannes *d e m* levées et baissées convenablement.

. Enrochement construit dans la Méditerranée sur un fond de sable élevé d'abord à toute hauteur, puis augmenté latéralement, et affouillements successifs qui en résultent.

PLANCHE XII.

. Ferme de la jetée est d'Ostende, partie construite en 1837, les pieux sont mailletés jusqu'à $0^m,80$ au dessus de basse mer de vive eau et à 2 mètres au-dessous; tous les boulons sont carrés et à clavettes.

. Elévation du plancher de la jetée d'Ostende ci-dessus.

. Plan du plancher d'*idem*.

. Eperon en charpente du port des Sables-d'Olonne, représenté dans la fig. 126 en *i m*.

. Ferme de l'éperon en charpente dont la fig. 137 est l'élévation.

bis. Détails du plancher des nouvelles jetées de Dunkerque.

. Ferme à l'extrémité nord des nouvelles jetées de Calais, prolongement de 1841; *m m* partie pleine qui va être exhaussée suivant *a b c d*.

. Ferme des anciennes jetées à claire-voie de Calais.

. Ferme d'une des anciennes jetées coffrées de Calais, les bordages sont intérieurs et horizontaux.

. Profil de la nouvelle jetée ouest de Boulogne exécutée dans le principe en enrochement.

. Ferme d'une des anciennes jetées coffrées de Calais, les bordages ne sont pas horizontaux.

. *Idem* autre système, les bordages sont extérieurs et horizontaux.

. Profil de la nouvelle jetée sud-ouest de Boulogne, l'enrochement primitivement exécuté a été abaissé au niveau des hautes mers, puis on lui a superposé une charpente *a b c n m p*, d'abord recouverte de bordages sur les faces *a i* et *c r* formant encoffrement remplis en moellons, puis définitivement laissée à claire voie en haut et bordée dans la partie supérieure *i t r h s* de l'enrochement; *x* enrochement plus récent du côté du chenal pour remplir les affouillements produits par les chasses.

. Ferme de la jetée haute nord-est de Boulogne.

PLANCHE XIII.

. Ferme des jetées de Dunkerque, deuxième prolongement de 1837.

. Risberme et travaux confortatifs exécutés au pied de la jetée ouest de Dunkerque en partie détruite par les vers tarets.

PLANCHE XIV.

Figures.

168. Elévation du musoir et d'une partie de la claire-voie à la suite de la nouvelle jetée est de Dieppe. *x x y* grandeur des vagues des grands vents d'ouest.

169. Profil en long de la nouvelle jetée ouest d'Honfleur. *a* terrain sur lequel elle devait être établie; *m* affouillement produit par les courants de la Seine pendant le battage des pieux.

170. Plan des têtes des jetées de Dieppe et de l'entrée du chenal avec les marches des lames de l'ouest quand l'intervalle des fermes *m m m* de la claire-voie n'était pas encore garni des poteaux intermédiaires; *a* partie pleine de la jetée de l'est contre laquelle venaient frapper les lames marchant suivant *x x*, et se déviant en *y* pour se porter d'une part contre le mur *h* et revenir suivant *t t* en *s* dans le chenal, et de l'autre selon *z z* contre la jetée de l'ouest et revenir suivant *p p* en *s* dans le chenal d'où il résultait un fort clapotage.

171. Profil en travers du chenal de Dieppe à environ 120 mètres du musoir de la jetée de l'ouest; *m m* ferme en charpente de la claire-voie de la jetée de l'est; *f g* brise-lame en plan incliné derrière la claire-voie; *h i* mur plein terminant la jetée de l'est dans l'est.

PLANCHE XV.

172. Coupe en travers des aqueducs latéraux de l'écluse de Flessingue faite dans le milieu de la coulisse des vannes.

173. Coupe en long des aqueducs ci-dessus près des vannes.

174. Coupe en long de l'écluse de Flessingue, telle qu'elle a été reconstruite en 1811-1812 sur les fondations de l'ancienne; *m n* anciens plans inclinés à l'aval des radiers des aqueducs latéraux pour conduire l'eau des chasses.

175. Plan de l'écluse du bassin à flot militaire de Flessingue, telle qu'elle a été reconstruite en 1811-1812, en se servant des fondations de l'ancienne. *a a*, *b b*, nouveaux buses des portes d'ebbe; *c c* buses des portes de flot; *d d* aqueducs latéraux qui dans l'ancienne écluse convergeaient en aval à peu près suivant les directions *m m*; *n n* plans inclinés pour éviter la chute brusque du courant des chasses par les aqueducs. Une cunette circulaire dans les buses, trapézoïdale au-delà, a été ouverte dans l'ancien radier pour donner passage à la quille des vaisseaux sans trop l'affaiblir. Des arrachements supposés des planchers font voir la construction du radier et de la cunette.

PLANCHE XVI.

176. Coupe en long de l'écluse maritime de Gand. *a b* rainure des poutrelles pour batardeaux.

177. Demi-coupe en travers du sas et des enclaves de l'écluse de Gand.

178. Plan de l'écluse de Gand. *a a*, *b b* rainure des poutrelles pour batardeau.

179. Coupe en travers de l'écluse qu'on va construire à Granville.

180. Détail de la cunette ouverte dans les buses de l'écluse de Flessingue pour donner passage à la quille des vaisseaux de ligne.

181. Demi-coupe en travers dans les enclaves de l'écluse de Flessingue et dans l'arrière-radier à onze mètres de la tête d'aval. *d* aqueducs latéraux pour faire communiquer le bassin avec la mer et pour faire des chasses dans le chenal; *n* plan incliné pour conduire le courant des chasses.

Figures.

182 Coupe verticale parallèle à l'axe de l'écluse de Flessingue, faite dans le centre des nouvelles crapaudines pour faire voir comment elles ont été placées dans le radier de l'ancienne écluse refouillé.

183. Coupe verticale suivant A B du plan (*fig.* 184), pour faire voir la position des crapaudines des portes sur les pièces du grillage de l'ancienne écluse de Flessingue.

184. Plan des nouvelles crapaudines de l'écluse de Flessingue, correspondant à la coupe de la figure 183.

185. Profil en travers du quai du port de commerce de Rochefort, indiquant les mouvements qui s'y sont manifestés deux ans après sa construction, les lignes ponctuées représentent la position primitive du mur et des pilots, et les lignes pleines la position actuelle, ainsi que la plate-forme de consolidation portant sur quatre pilots, un chapeau et des longrines avec fascines. Le plus grand avancement a été $1^m,50$, l'abaissement a été de $0^m,27$ au parement et un peu moins du côté de la terre.

186. Coupe et plan pour faire voir les dispositions des aqueducs servant à nettoyer les enclaves des portes d'une écluse de Liverpool, des vases qui s'y déposent et gênent le jeu des portes.

PLANCHE XVII.

187. Situation de la laisse de basse mer, de la passe et du chenal de Dunkerque le 31 mai 1844. Les cotes entre parenthèses indiquent les sondes en mètres à mer basse de vive eau. Les lignes ponctuées représentent les mêmes données au 8 janvier 1835. Les lignes ponctuées indiquant les profondeurs de 9 mètres sont supposées les mêmes que celles de 1835 (*fig.* 188).

188. Situation de la laisse des basses mers, de la passe et du chenal de Dunkerque le 8 juin 1835. Les cotes entre parenthèses indiquent les profondeurs à mer basse de vive eau. B A direction des profils pris avant et pendant l'expérience des chasses de septembre 1835 représentés figures 191 et 192 ; *a b* chenal tortueux à cette époque ; *c h a* chenal entre les jetées ; *d* grande écluse de chasse construite en 1825 ; *g* bassin de retenue ; *m m* courant de Mardick ; *n n* épis bas en enrochement.

189. Coupe en travers vers l'extrémité de la jetée nord de Fécamp. *a b* bordage en madriers de chêne qui garantissent le bas de la maçonnerie du frottement des galets.

190. Détail des scellements qui rendent solidaires les pierres d'une assise et les assises entre elles dans les réparations de la jetée nord de Fécamp.

191. Profils suivant B A de la figure 188 pris dans le chenal de la passe à la tête des jetées de Dunkerque avant la chasse du 6 septembre 1835, et quinze minutes après le commencement de cette chasse. Les lignes avec hachures sont relatives à la première époque, celles pointillées sont le profil après la chasse ; la ligne d'eau est plus élevée que la basse mer de vive eau.

192. Les mêmes profils, mais le profil pointillé pris une heure dix minutes après la chasse.

193. Plan des fondations en béton en usage pour les môles construits dans la Méditerranée au-dessous de l'eau.

194. Plan de la laisse de basse mer de la côte adjacente aux jetées de Dunkerque à diverses époques, à savoir : en 1694, 1733, 1802, 1836 et 1844, d'après les renseignements tirés des archives du dépôt de la guerre pour 1694 et 1733, et les cartes de la marine et des ingénieurs des ponts et chaussées pour les autres. *a b c d* jetées de Vauban

Figures.

construites de 1677 à 1683 ; *m n* têtes des nouvelles jetées de 1844 ; *g h* ancien chenal de Mardick en 1733 ; *e f* position très-probable du bord de l'estran avant 1694.

195. Profils en long du chenal et de la passe de Dunkerque à diverses époques, à savoir : en 1821 avant la restauration des jetées de Vauban, le 8 juin 1833, dix ans après la réfection des jetées et la construction de la grande écluse de chasse, en mai 1844 après le dernier prolongement des jetées ; enfin, en juillet de la même année.

PLANCHE XVIII.

196. Plan représentant les courants superficiels de la chasse faite au Havre le 1er août 1836 (pleine lune le 28 juillet). Les flèches indiquent les directions des courants ; les chiffres au bout des flèches sont les vitesses que j'ai observées, *a* grand courant de l'écluse de chasse de la Floride *h h* ; *b b* courant secondaire venant du fond de l'avant-port ; *c c idem* venant des fossés des fortifications ; *d* grand tournant ; *m m* grand tournant sur le poulier du sud.

197. Coupe en long de l'écluse de chasse de la Floride, l'eau rentrant dans la retenue et faisant voir les mouvements superficiels de l'eau.

198. Plan des mouvements dont la fig. 197 est la coupe en long. *a* eau plus haute qu'em *m*, *n* eau plus haute qu'en *c*.

199. Plan des courants superficiels de la chasse faite à Fécamp, le 3 août 1826, pleine lune le 28 juillet précédent ; les flèches indiquent les directions des courants et contre-courants, les chiffres au bout des flèches sont les vitesses en mètres que j'ai observées, *a b* éperon en maçonnerie qui n'existe plus aujourd'hui ; *m m* estacade ou jetée à claire-voie qui n'existait pas lors de la chasse ; *n n* écluse de chasse ; *t p* jetée du nord.

200. Plan des courants et contre-courants apparents contre les portes tournantes de l'écluse de chasse de Fécamp pendant la première demi-heure de la chasse.

201. Coupe en long de l'écluse de chasse de Boulogne pendant la chasse du 15 septembre 1837 (pleine lune le 14). *a b* hauteur du courant contre la face à droite de la porte ; *c d idem* à gauche.

202. Plan des mouvements apparents de l'eau relatif à la figure 201 ; *a b* eau à droite de la porte plus que l'eau *c d* à gauche, de $0^{m},15$ en amont et de $0^{m},60$ en aval.

PLANCHE XIX.

203. Elévation d'un embarcadère mobile construit sur les bords vaseux de la Gironde et au moment des plus basses mers. Les lignes ponctuées indiquent la position à haute mer de vive eau extraordinaire.

204. Plan du port de Douvres à mer basse de vive eau et de la côte de galets aux environs.

204 *bis*. Plan de l'entrée du port de Douvres avec les courants qui ont lieu au flot de la tête des jetées.

205. Plan des mouvements d'eau apparents qui ont lieu dans une chasse de l'écluse du bassin à flot d'Anvers par les aqueducs latéraux et les ventelles des portes d'ebbe quand on commence par les ventelles avant les vannes des aqueducs.

205 *bis*. Moyen employé au Havre et à Dieppe pour tenir fermée une porte tournante simple d'une écluse de chasse. *a* poteau fixe ; *b* poteau mobile retenant le poteau butant *i* de la porte tournante. Les lignes ponctuées indiquent la position du poteau *b* quand on veut ouvrir la porte.

Figures.

206. *Idem* quand on commence la chasse par les vannes des aqueducs avant les ventelles.

206 *bis*. Détails d'un arganau en dehors des môles du port militaire de Cherbourg et de sa niche.

207. Plan d'une partie du port de Douvres; *a b* turnwater apron ; *d c* autre turnwater apron au niveau de basse mer ainsi que le précédent; *i i i* tuyau de fonte de $2^m,10$ de diamètre au niveau de basse mer; *m m* aqueducs faisant communiquer le tuyau avec les retenues R R ; *h* banc de galet figuré dans le plan du mémoire de Smeaton sur le port de Douvres.

208. Profil de la jetée formant môle du port du Socoa.

209. Plan des mouvements d'eau apparents d'une chasse faite par les portes tournantes enchâssées de l'écluse militaire d'Ostende le 12 septembre 1837 (pleine lune le 14).

PLANCHE XX.

210. Elévation de la porte tournante enchâssée dans la porte d'ebbe de l'écluse militaire d'Ostende vue d'aval. *a* valet retenant la porte tournante fermée; *b* pivots pour la rotation du valet.

211. Plan et élévation des portes tournantes couplées de l'écluse de chasse construite à Ostende en 1810. *a b* poteaux d'arrêt tournants pour soutenir la petite aile des portes, les soulager et empêcher les pertes d'eau ; *c* poteau tournant du milieu ; *m n* levier pour tourner le poteau *c* et faire jouer l'écluse.

212. Profil en travers d'un mur de quai de Glasgow.

213. Plan de la porte tournante enchâssée de l'écluse militaire d'Ostende. *a* valet retenant la porte quand elle est fermée; *b* pivot de rotation des valets.

214, 215. Détails du pivot du valet de la porte enchâssée figures 210 et 213.

216. *Idem*.

217. Plan des fondations du mur de quai de Glasgow (*fig.* 212).

218. Plan de l'écluse militaire d'Ostende, la porte étant ouverte pendant la chasse du 12 septembre 1837.

PLANCHE XXI.

219. Elévation de la porte tournante de chasse de Gravelines vue d'amont. *a b* poteau d'arrêt tournant.

220. Elévation d'un ventail, avec porte enchâssée, de l'écluse de la Cunette à Dunkerque vue d'aval. *b* loquet retenant fermée l'espagnolette ; *m m* espagnolette qui tient la porte enchâssée fermée.

221. Plan des portes d'ebbe de l'écluse de la Cunette à Dunkerque avec la position des portes tournantes enchâssées ouvertes pendant une chasse.

222. Pivot et crapaudine du poteau tournant de la porte de Gravelines (*fig.* 219).

223. Collier du poteau tournant de la porte de Gravelines (*fig.* 219).

224. Plan d'*idem*.

225. Pivot et crapaudine d'un poteau tournant d'arrêt *a* et *b* (*fig.* 219).

226. Plan de la porte tournante de Gravelines (*fig.* 219). *a b* poteaux d'arrêt tournants.

227. Coupe suivant A B de la porte tournante de Gravelines (*fig.* 219).

Figures.

228. Coupe suivant A B de la porte de l'écluse de la Cunette (*fig.* 220).

229. Coupe suivant C D d'*idem*.

230. Coupe suivant E F d'*idem*.

231. Coupe de l'écrou et de la vis des vannes des acqueducs latéraux de l'écluse d'Anvers suivant A B du plan (*fig.* 234).

232. Détail de la vis en bois de la figure 231.

233. Coupe suivant A B de la figure 236, vannes des aqueducs latéraux de l'écluse d'Anvers.

234. Plan de l'écrou des vannes des aqueducs de l'écluse d'Anvers.

235. Coupe verticale de la vanne des aqueducs de l'écluse d'Anvers.

236. Elévation d'aval d'une vanne des aqueducs latéraux de l'écluse d'Anvers.

237. Coupe des cercles en fer et en cuivre qui retiennent l'écrou des vannes de l'écluse d'Anvers.

238. Plan du cercle supérieur en fer dont on voit la coupe verticale (*fig.* 237).

239. Plan du cercle inférieur en cuivre et en deux parties, s'ajustant avec le cercle supérieur (*fig.* 238).

PLANCHE XXII.

240. Pivot du poteau de la porte tournante de l'écluse de chasse de Boulogne (*fig.* 242), et qui est fixé au seuil (*fig.* 264).

241. Poteau tournant d'arrêt de la grande aile de la porte tournante de Boulogne (*fig.* 242).

242. Elévation de la porte tournante et du pont de l'écluse de chasse de Boulogne. *a* poteau tournant d'arrêt du petit côté de la porte pour le soutenir quand la porte est fermée. *b idem* du grand côté.

243. Coupe verticale de la porte tournante de Boulogne faite dans l'axe du passage.

243 *bis*. Coupe horizontale d'*idem* faite suivant A B de l'élévation (*fig.* 242).

244. Pivot fixé au pied des poteaux tournants d'arrêt *a* et *b* (*fig.* 241, 242, 251).

245—246. Pivot du poteau tournant de la porte de l'écluse de chasse de Boulogne.

247—248—249—250. Plan, coupe et élévation se rapportant au pivot de la figure 244.

251. Plan de la porte tournante, du pont, et des bajoyers de l'écluse de chasse de Boulogne. *a* poteau d'arrêt tournant du petit côté de la porte; *b idem* du grand côté; *i* levier pour faire tourner le poteau *b* et ouvrir la porte; *m n* levier fixé au garde-fou du pont par un verrou *n* ouvrant et fermant à volonté avec un cadenas; R cabestan pour manœuvrer la porte.

252—253. Crapaudine fixée au seuil et recevant les pivots des poteaux d'arrêt (*fig.* 244, 247, etc.).

254—255. Coupes horizontales des deux poteaux butants de la porte tournante de Boulogne.

256. Recouvrement des bordages de la porte tournante de Boulogne.

257. Détail du mécanisme servant à tenir la porte de Boulogne fermée et à l'ouvrir subitement.

258. Détail des extrémités des bordages fixés aux poteaux butants de la porte de Boulogne.

259—260—261—262. Crapaudine renversée fixée au pied du poteau-tourillon de la porte tournante de Boulogne.

263. Affouillements en amont et en aval de l'écluse de chasse de Boulogne.

264. Seuil de la porte tournante de l'écluse de chasse de Boulogne.

